

TUGAS AKHIR – MN 141581

**DESAIN *SUBMARINE* 28 M BERBASIS
ANALISIS *MANEUVERING***

IRMA MAHARDHIKA PUTRI

NRP. 4112 100 078

Dosen Pembimbing

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

FINAL PROJECT – MN 141581

**DESIGN OF SUBMARINE 28 M BASED ON
MANEUVERING ANALYZE**

IRMA MAHARDHIKA PUTRI

NRP. 4112 100 078

Supervisor

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING
ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *SUBMARINE* 28 M BERBASIS ANALISIS *MANEUVERING*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

IRMA MAHARDHIKA PUTRI
NRP. 4112 100 078

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Wasis Dwi Arsyawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19651002 198901 1 001

Surabaya, 01 Juli 2016

DESAIN SUBMARINE 28 M BERBASIS ANALISIS MANEUVERING

Nama Mahasiswa : Irma Mahardhika Putri
NRP : 4112 100 078
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Indonesia adalah negara maritime terbesar di dunia dengan luas perairan mencapai 64.97% dari total wilayah Indonesia. Hal ini membuat pemerintah sulit untuk mengawasi perairan di Indonesia dari kegiatan ilegal seperti penerobosan batas wilayah, penangkapan ikan ilegal dan penyelundupan, yang mana tidak bisa diselesaikan dengan pendekatan biasa. Kapal selam merupakan salah satu solusi yang dapat menjawab tantangan tersebut. Kemampuan kapal selam untuk tetap berada di bawah permukaan air menjadikannya sebuah solusi terbaik untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Sehingga, untuk tujuan tersebut pemerintah mulai mengadakan penelitian untuk membangun sebuah model kapal selam yang optimum dengan melakukan eksperimen terhadap manuverabilitasnya. ITS (Institut Teknologi Sepuluh Nopember) adalah universitas teknik di Surabaya yang telah melakukan eksperimen mengenai hal tersebut. Metodologi dari penelitian ini adalah melakukan perhitungan navigasi dari model *submarine* dan mensimulasikannya dengan bantuan *software* komputer. Ada dua *maneuver* navigasi yang dijadikan variabel dalam penelitian ini, *zig-zag maneuver* dan *turning circle*. Pengujian dari kedua variabel tersebut bertujuan untuk mendapatkan nilai koefisien *derivative hydrodynamic* yang kemudian dikalkulasi kembali untuk mendapatkan nilai pasti dari diameter belok dan data grafis *yaw oscilation*. Kemudian, untuk menentukan nilai ambang batas *criteria maneuvering* menggunakan nilai dari IMO Resolution MSC 137 (76) 2002. Untuk *tactical diameter* pada variasi no.1, 4, dan ukuran asli telah memenuhi batasan kriteria. Sedangkan untuk sudut *overshoot* pada *zig-zag maneuver* telah memenuhi kriteria. Dari hasil analisis yang dilakukan, model *submarine* 28 m pada variasi no.1 merupakan model *submarine* yang paling optimum berdasarkan karakteristik *maneuvering*.

Kata Kunci : kapal selam, *maneuvering*, fin .

DESIGN OF SUBMARINE 28 M BASED ON MANEUVERING ANALYZE

Author : Irma Mahardhika Putri
ID No. : 4112 100 078
Dept. / Faculty : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Supervisor : Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Indonesia is the largest maritime nation in the world with vast region of water that reaches 64,97% from its total territory. This makes the Government difficult to protect the water area from any illegal activity such as border trespassing, illegal fishing and smuggling, which couldn't be solved by using ordinary method. Submarine is one of solution that could answer this challenge. It has ability to remain submerged under the water, which made it the best option available to solve the current problem. Thus, for that purpose, the Government begin to research on building optimum model of submarine by experimenting toward it's maneuverability. ITS (Institute Teknologi Sepuluh Nopember) is technical university in Surabaya that is already conducting research regarding to this matter. The methodology of this research is calculate the navigation of the submarine model and then simulate it with the helps of computer software. There are two kinds of navigation maneuver that became variable in this research, zig-zag and turning circle maneuvering. Each test must be conducted in order to analyze the submarine fin length ratio relative to its chord foil. From the simulation, the hydrodynamic derivative coefficient could be calculated to get exact value of turning diameter and yaw oscilation graphics data. Then, to restrict the value of maneuvering criterion, threshold IMO Resolution MSC 137 (76) 2002 is used. For tactical diameter with variation number 1, 4, and the origin dimension has fulfilled the criteria limits. While overshoot angle for zig-zag maneuver has fulfilled the criteria limits. From the analysis that has been done, submarine 28 meters with variation number 1 is the most optimum submarine, based on maneuvering characteristics.

Keyword : submarine, maneuvering, fin .

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR REVISI	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	2
I.2. Rumusan Masalah.....	3
I.3. Batasan Masalah	3
I.4. Tujuan	4
I.5. Manfaat	4
I.6. Hipotesis	4
I.7. Format Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1. Kapal Selam (<i>Submarine</i>)	8
II.2. <i>Maneuverability</i> Kapal	11
II.3. Gerakan pada Kapal.....	13
II.4. Persamaan Gerak pada Kapal Selam	15
II.5. <i>Turning Maneuver (Turning Circle)</i>	16
II.5.1. Tahapan pada <i>Turning Maneuver</i>	17
II.6. <i>Zig-zag Maneuver</i>	19

II.6.1. <i>Planar Motion Mechanism</i>	20
II.7. <i>Hydrodynamic Coefficient</i>	21
II.8. Analisa CFD	22
II.8.1. <i>Governing Equation</i>	23
II.8.2. Metode Penyelesaian.....	23
II.8.3. <i>Software</i>	23
II.9. MATLAB.....	25
II.10. Kriteria <i>Maneuvering</i> pada <i>Submarine</i>	27
BAB III METODOLOGI.....	29
III.1. Bagan Alir.....	30
III.2 Tahap Pengerjaan.....	31
III.3. Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik	32
BAB IV PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI DENGAN SOFTWARE.....	33
IV.1. Data <i>Submarine</i> 28 M	34
IV.2. Simulasi Model <i>Submarine</i> 28 M dengan CFD- <i>Software</i>	36
IV.2.1. Konversi Geometri	36
IV.2.2. Pengaturan Pemodelan pada CFD- <i>Software</i>	37
IV.2.3. Tahap <i>Pre Processor</i> pada CFD- <i>software</i>	38
IV.2.4. Proses <i>Solver</i> pada CFD- <i>Software</i>	40
IV.2.5. Tahap <i>Post Processor</i> pada CFD- <i>Software</i>	41
IV.2.6. Validasi Data	42
IV.2.7. Perhitungan <i>Hydrodynamic Force</i> dengan CFD- <i>Software</i> untuk <i>Submarine</i>	43
BAB V ANALISIS <i>MANEUVERING</i> PADA <i>SUBMARINE</i> 28 M.....	47
V.1. Perhitungan <i>Longitudinal Force X (resistance)</i>	48
V.2. Perhitungan Menggunakan Simulasi CFD	49
V.2.1. <i>Hydrodynamic Force</i>	49

V.2.2. <i>Hydrodynamic Derivatives</i>	50
V.3. <i>Analisis Turning Circle</i>	53
V.4. <i>Analisa Zig-Zag Maneuver</i>	55
V. 5. <i>Batasan Kriteria Maneuvering</i>	57
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	59
VI.1. <i>Kesimpulan</i>	60
VI.2. <i>Saran</i>	61
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1. Rencana Umum pada Kapal Selam Konvensional.....	8
Gambar II. 2. Kondisi <i>submarine</i> pada <i>submerged condition</i>	10
Gambar II. 3. Kondisi <i>submarine</i> pada <i>snorkel condition</i>	10
Gambar II. 4. Kondisi <i>submarine</i> pada <i>surfaced condition</i>	11
Gambar II. 5. <i>Inherent Dynamic Stability</i>	12
Gambar II. 6. <i>Course-Keeping ability</i>	12
Gambar II. 7. <i>Stopping ability</i>	13
Gambar II. 8. Mode Enam Derajat Kebebasan (DOF) pada Kapal	15
Gambar II. 9. <i>Turning Circle</i>	16
Gambar II. 10. <i>Zig-zag Maneuver</i>	20
Gambar II. 11. <i>Pure yawing</i>	21
Gambar III. 1. Bagan Alir	30
Gambar IV. 1. <i>Submarine</i> 28 m dalam 3 dimensi.....	34
Gambar IV. 2. <i>Submarine</i> 28 m tampak depan.....	35
Gambar IV. 3. <i>Submarine</i> 28 m tampak samping.....	35
Gambar IV. 4. <i>Submarine</i> 28 m tampak atas	36
Gambar IV. 5. Proses <i>export</i> file dari Maxsurf (.msd) ke ANSYS (.igs)	37
Gambar IV. 6. Pemberian domain komputasi (inlet dan outlet)	37
Gambar IV. 7. Pemberian ukuran <i>meshing</i>	38
Gambar IV. 8. Hasil proses <i>meshing</i>	38
Gambar IV. 9. Salah satu pendefinisian <i>boundary</i>	39
Gambar IV. 10. Hasil pendefinisian <i>boundary</i>	39
Gambar IV. 11. Pengaturan pada <i>solver control</i>	40
Gambar IV. 12. Proses <i>running</i> pada tahap <i>solver</i>	41
Gambar IV. 13. Fitur <i>function calculator</i>	42
Gambar IV. 14. Batas <i>Convergence</i> pada grafik simulasi <i>full viscous</i>	43
Gambar IV. 15. Perhitungan <i>hydrodynamic derivatives</i> untuk <i>rudder angle</i> 35°	44
Gambar IV. 16. Perhitungan <i>hydrodynamic derivatives</i> untuk <i>rudder angle</i> 10°	45
Gambar IV. 17. Kurva hasil plot <i>turning circle</i> pada Matlab dengan ukuran fin asli ...	54
Gambar V. 1. Nilai <i>turning radius</i>	54
Gambar V. 2. Hasil <i>turning radius</i> pada tiap variasi ukuran fin	55

Gambar V. 3. <i>Yaw</i> dengan <i>rudder angle</i> 10^0 pada ukuran fin asli	56
Gambar V. 4. <i>Yaw</i> dengan <i>rudder angle</i> konstan pada beberapa variasi	56
Gambar V. 5. Hasil pengeplotan grafik untuk mendapatkan sudut <i>overshoot</i>	57

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Notasi yang digunakan untuk bangunan apung	14
Tabel II. 2. Manuverabilitas Kapal oleh IMO	27
Tabel IV. 1. Tabel variasi fin untuk submarine 28 m	44
Tabel V. 1. Hambatan <i>appendages</i> saat <i>submerged</i>	49
Tabel V. 2. Hambatan pada tiap variasi	49
Tabel V. 3. <i>Hydrodynamic force</i> untuk <i>rudder angle</i> 35^0	50
Tabel V. 4. <i>Hydrodynamic force</i> untuk <i>rudder angle</i> 10^0	50
Tabel V. 5. <i>Hydrodynamic derivatives</i> untuk <i>rudder angle</i> 35^0	52
Tabel V. 6. <i>Hydrodynamic derivatives</i> untuk <i>rudder angle</i> 10^0	53
Tabel V. 7. Hasil batasan kriteria pada <i>turning circle</i>	57
Tabel V. 9. Hasil batasan kriteria <i>zig-zag maneuver</i> $10^0/10^0$	58

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Hasil perhitungan *Longitudinal Force X (resistance)*
- Lampiran 2 : Penulisan program pada Matlab untuk perhitungan *turning circle* dan *zig-zag maneuver* pada tiap variasi
- Lampiran 3 : Rekapitulasi penulisan program pada Matlab untuk perhitungan *turning circle* dan *zig-zag maneuver*

BAB I

PENDAHULUAN

Bab I Pendahuluan menjelaskan secara garis besar mengenai gambaran umum pengerjaan Tugas Akhir “*Desain Submarine 28 M Berbasis Analisis Maneuvering*”, termasuk alasan yang melatar belakangi dipilihnya penelitian ini, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat dari pengerjaan Tugas Akhir ini. Paparan pada Bab ini akan menjadi dasar untuk merumuskan tinjauan pustaka dan dasar teori yang digunakan pada Bab II dan metodologi pada Bab III.

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritime yang sebagian besar wilayahnya adalah perairan, dan tercatat di Indonesia terdapat 13.487 pulau, yang terdiri dari pulau besar dan pulau kecil. Wilayah Indonesia terbentang sepanjang 3.977 mil di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Luas daratan Indonesia adalah 1.922.570 km² dan luas perairannya 3.257.483 km². Dengan luas perairan tersebut maka daerah perairan yang harus dijaga oleh pemerintah Indonesia tidaklah sedikit.

Kapal selam merupakan salah satu ujung tombak pemerintah dalam hal ini TNI-AL untuk menjaga kedaulatan wilayah perairan NKRI. Saat ini pemerintah hanya memiliki 2 (dua) buah kapal selam sebagai alat sistem persenjataan bawah laut. Kapal yang dimiliki Indonesia tersebut adalah tipe TYP 209 buatan Jerman. Jumlah kapal selam tersebut termasuk sangat sedikit, mengingat betapa luasnya perairan di NKRI jika dibandingkan dengan negara tetangga. Sebagai perbandingannya Singapura sebagai negara yang cukup kecil, memiliki 4 buah kapal selam yang dapat beroperasi.

Ditambah lagi, selama ini pembuatan kapal selam yang dimiliki oleh Indonesia ini belumlah memenuhi kebutuhan spesifik yang dimiliki oleh NKRI dengan memperhatikan sisi lingkungan yang dihadapi. Kapal selam yang dibutuhkan oleh Indonesia tidak harus memiliki kemampuan menyelam yang sangat dalam, dikarenakan rata-rata kedalaman laut Indonesia cukup dangkal. Namun tetap mampu melaksanakan *silent operation*, sehingga mampu mendeteksi keberadaan musuh secara efisien, efektif dan dengan biaya operasi yang cukup rendah, serta harus dapat bertahan pada kondisi ekstrim.

Manuver adalah hal yang sangat penting untuk dapat memastikan kapal dapat dioperasikan dalam situasi dan kondisi yang ditentukan. Sehingga manuver merupakan karakteristik penting yang harus diprediksi atau diperhitungkan selama desain awal (*preliminary design*) kapal. Secara prinsip manuver kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan badan kapal, sistem propulsi, dan sistem kemudi. Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh yang signifikan terhadap gaya dan momen hidrodinamika saat kapal manuver.

Terdapat berbagai gaya luar (*eksternal force*) dan gaya dalam (*internal force*) yang dialami oleh kapal selam setiap beroperasi. Ini menyebabkan badan kapal mengalami gaya yang menimbulkan tegangan dan regangan secara tetap dan berulang-ulang. Saat kapal mengapung bebas di dalam laut atau perairan, kapal mengalami gerak osilasi yaitu gerakan translasi atau lateral dan gerakan rotasi/rotasional dalam enam derajat kebebasan.

Menurut arahnya, ada tiga gerakan translasi ke arah sumbu X, Y dan Z serta tiga gerakan rotasi memutar sumbu X, Y dan Z. Gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan tersebut adalah gerakan *surgin* yang merupakan gerakan kapal maju mundur ke arah sumbu X (arah haluan/*forward* dan buritan/*backward*), gerakan *swaying* yang merupakan gerakan kapal ke arah samping (arah *port* dan *starboard* /arah sumbu Y), gerakan *heaving* yang merupakan gerakan kapal naik turun (arah atas dan bawah/arah sumbu Z), gerakan *rolling/heeling* atau gerakan angguk yang merupakan gerakan rotasi kapal dengan sumbu X sebagai sumbu putar, gerakan *surgin* yang merupakan gerakan rotasi kapal dengan sumbu Y sebagai sumbu putar dan gerakan *yawing* yang merupakan gerakan rotasi kapal dengan sumbu Z sebagai sumbu putar. Gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan menjelaskan jenis keseimbangan yang dialami kapal di mana gerakan *heaving* merupakan keseimbangan stabil, gerakan *surgin* dan *swaying* merupakan keseimbangan netral atau indifferen, gerakan *yawing* merupakan keseimbangan netral atau indifferen dan gerakan *rolling/heel* dan *pitch* merupakan gerakan yang tidak tentu yang memungkinkan keseimbangan stabil, labil atau netral.

Timbulnya gerakan kapal tersebut dikarenakan oleh lingkungan operasi kapal disekitarnya, yaitu arus laut. Arus laut merupakan salah satu faktor kapal dapat melakukan manuver dengan baik atau tidak. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini akan melakukan perbaikan desain terhadap *maneuvering* kapal. Dalam penentuan manuver pada kapal dilakukan dengan menggunakan *software*. Data kapal selam yang digunakan adalah hasil penelitian sebelumnya.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana karakteristik manuver *turning circle* dan *zig-zag maneuver submarine* di perairan Indonesia?
- b. Bagaimana hasil analisis batasan kriteria *maneuvering* terhadap *Submarine 28 M* pada keadaan *submerged* di perairan Indonesia?

I.3. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini batasan permasalahan yang dibahas adalah sebagai berikut:

- a. Data sesuai dengan data *Submarine* 28 m yang telah diteliti sebelumnya.
- b. Analisis olah gerak kapal (*maneuvering*) dilakukan menggunakan *software*.
- c. Kemampuan *maneuver* yang dianalisa adalah *turning circle* dan *zig-zag maneuver*.
- d. Sudut *maneuver* yang dianalisa pada *zig-zag maneuver* adalah 10^0 .
- e. Perbaikan desain hanya dilakukan pada rasio ukuran panjang fin terhadap panjang *chord* pada fin kapal.

I.4. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Memperoleh karakteristik *maneuver turning circle* dan *zig-zag maneuver* di perairan Indonesia.
- b. Mendapatkan hasil analisis batasan kriteria *maneuvering* terhadap *Submarine* 28 M pada keadaan *submerged* di perairan Indonesia..

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- a. Sebagai pembelajaran mengenai bagaimana menganalisis *maneuver* pada *Submarine* 28 M.
- b. Sebagai informasi mengenai karakteristik *maneuver Submarine* 28 M di perairan Indonesia.
- c. Sebagai pembelajaran mengenai bagaimana memperbaiki desain *Submarine* 28 M terhadap olah gerak (*maneuvering*) kapal.
- d. Sebagai literatur pada penelitian selanjutnya yang sejenis.

I.6. Hipotesis

Hasil penelitian akan menghasilkan kemampuan manuver yang lebih baik dari desain sebelumnya pada *Submarine*, dengan melakukan perbaikan desain pada *Submarine* 28 M.

I.7. Format Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah serta batasan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam

penulisan Tugas Akhir ini, manfaat yang diperoleh, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang tinjauan pustaka yang menjadi acuan, dasar-dasar teori dan informasi apa saja yang dipakai, serta persamaan-persamaan apa saja yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir.

BAB III. METODOLOGI

Bab ini menjelaskan tahapan metodologi dalam menyelesaikan permasalahan secara berurutan dimulai dari tahap pengumpulan data dan studi literatur, hingga pengolahan data untuk analisis lebih lanjut yang nantinya akan menghasilkan sebuah kesimpulan guna menjawab perumusan masalah yang sudah ada sebelumnya.

BAB IV. PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI DENGAN *SOFTWARE*

Bab ini menjelaskan tahapan pembuatan model dan simulasi menggunakan *software* untuk menyelesaikan permasalahan.

BAB V. DESAIN *SUBMARINE* 28 M BERBASIS ANALISIS *MANEUVERING*

Bab ini merupakan tahap inti dari penelitian ini. Pada bab ini akan dilakukan analisa dan pembahasan dari permasalahan yang ada.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari proses penelitian Tugas Akhir serta pemberian saran untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya yang sejenis.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

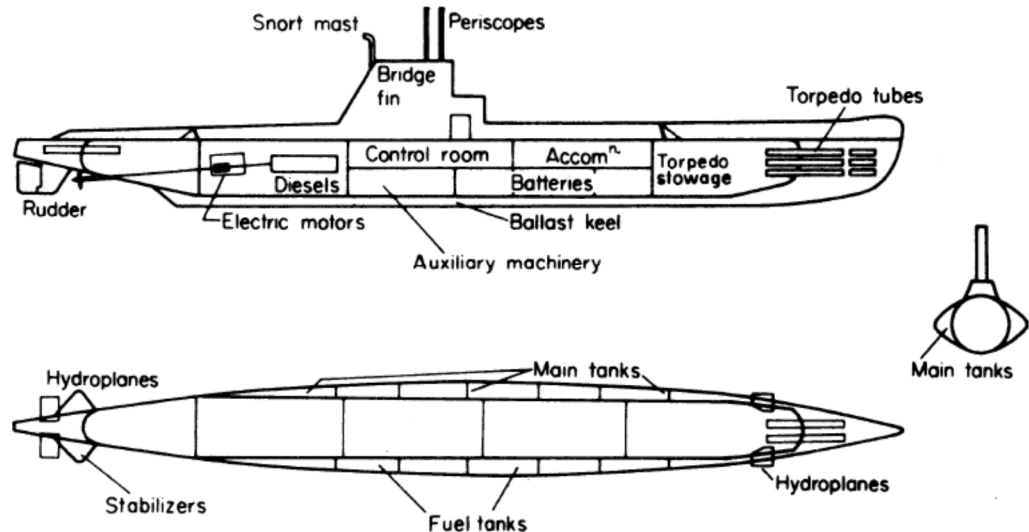
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab I, telah diuraikan mengenai latar belakang dan lingkup pekerjaan dari Tugas Akhir ini. Untuk merealisasikannya secara ilmiah, diperlukan kajian ilmu yang sudah ada dari berbagai macam referensi, baik dari penelitian sebelumnya maupun dari teori yang sudah berkembang saat ini. Pada Bab II ini dituliskan tentang gambaran umum kapal selam, teori *maneuvering* pada kapal, teori *turning circle* dan *zig-zag maneuver*, serta gambaran umum tentang *software* MATLAB beserta metodenya.

II.1. Kapal Selam (*Submarine*)

Kapal selam adalah sebuah kapal dengan propulsi mandiri yang mampu membawa personel dan / atau penumpang saat beroperasi di bawah air, menyelam, di permukaan dan memiliki daya apung. Tekanan internal yang biasanya dipertahankan pada atau dekat satu atmosfer. (ABS, 2015)



Gambar II. 1. Rencana Umum pada Kapal Selam Konvensional
(Rawson & Tupper, 2001)

Pada Gambar II. 1 adalah gambaran tentang rencana umum daripada kapal selam konvensional. Perbedaan gambaran umum dari kapal selam konvensional jika dibandingkan dengan kapal permukaan adalah sebagai berikut :

- Bentuk kapal selam dikondisikan sedemikian rupa hingga memiliki propulsi yang efisien pada saat kondisi menyelam (*submerged*).
- Sebagian besar porsi badan utama kapal pada *pressure hull* (badan tekan) biasanya berbentuk lingkaran pada penampang melintang membuatnya dapat menahan tekanan hidrostatik yang tinggi. Bentuk potongan lingkaran ini dapat diartikan dengan sarat air yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapal permukaan dengan displasemen yang sama.
- Hydroplanes*, untuk mengatur kedalaman dan sudut kemiringan kapal; biasanya terdapat 2 pasang, satu di bagian belakang dan satu lagi di bagian depan atau pada sirip anjungan.
- Tangki, biasanya terdapat pada bagian luar badan tekan, dimana dapat digenangi air untuk mengakibatkan kapal tersebut menyelam.

- e. Sistem propulsi ganda. Pada kondisi menyelam sistem yang biasa digunakan adalah dengan sistem elektrik yang tersedia dari baterai dan propulsi saat kondisi permukaan adalah menggunakan diesel. Baterai membutuhkan pengisian secara rutin, ini mengartikan bahwa kapal selam konvensional harus beroperasi pada permukaan atau kedalaman periskop untuk beberapa waktu yang dibutuhkan. Kerugian ini dapat diatasi dengan kapal selam bertenaga nuklir atau dengan sistem propulsi udara secara mandiri pada kapal tersebut.
- f. Periskop dan tiang sensor memungkinkan kapal untuk beroperasi dekat dengan permukaan.
- g. Sebuah pipa masuk udara khusus, *snort mast*, memungkinkan udara diambil ketika beroperasi pada kedalaman periskop.

Ada kebutuhan khusus untuk mengatur kondisi atmosfer di dalam kapal selam. Terpisah dengan kelengkapan pada kondisi normal, terdapat penyerap karbon dioksida dan generator oksigen. (Rawson & Tupper, 2001)

Berdasarkan ukurannya kapal selam dibagi atas tiga jenis utama yaitu:

1) *Large Submarine*

Yaitu kapal selam dengan bobot lebih dari 2000 ton saat kondisi menyelam (*submerged*). Beberapa contoh kapal selam tipe ini adalah Kilo-Class dan Thypoon-Class buatan Rusia. Beberapa jenis *Large Submarine* menggunakan tenaga penggerak berupa reaktor nuklir.

2) *Medium Submarine*

Yaitu kapal selam dengan bobot saat menyelam (*submerged*) berada pada kisaran nilai antara lebih dari 600 sampai dengan kurang dari 2000 ton. Salah satu contoh kapal selam medium ini adalah KRI Cakra 401 milik TNI-AL yang merupakan class U-209 buatan Jerman.

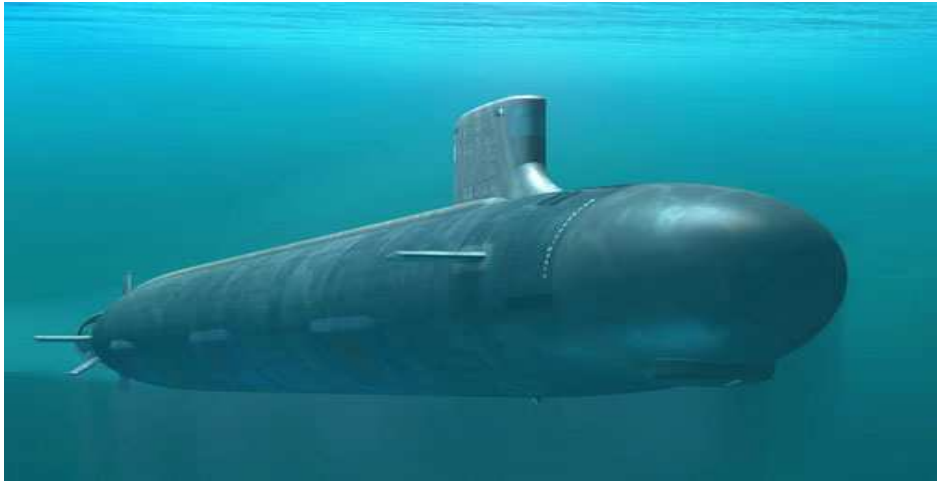
3) *Midget Submarine*

Secara umum kapal selam ini didefinisikan sebagai kapal selam dengan bobot dibawah 150 ton. Namun, beberapa jenis *midget submarine* juga memiliki bobot hingga lebih dari 300 ton.

Secara umum, kondisi pelayaran pada kapal selam dibagi menjadi 3, yaitu *submerged*, *snorkel* dan *surfaced*, yaitu :

1) *Submerged condition*

Yaitu kondisi dimana keseluruhan *body* kapal selam berada di bawah permukaan air dengan kedalaman tertentu. Pada Gambar II. 2 merupakan gambar kapal selam tipe *albacore* pada saat kondisi sedang menyelam.



Gambar II. 2. Kondisi *submarine* pada *submerged condition*

2) *Snorkel condition*

Yaitu kondisi dimana volume total dari kapal selam berada di bawah permukaan air, tetapi sangat dekat dengan permukaan laut sehingga hanya *snorkel mast* saja yang keluar dari permukaan air seperti terlihat pada Gambar II. 3.



Gambar II. 3. Kondisi *submarine* pada *snorkel condition*

3) *Surfaced condition*

Yaitu kondisi dimana sebagian *body* kapal selam berada di atas permukaan air, dan sisanya berada di bawah permukaan air. Pada kondisi ini, kapal selam akan memiliki sarat (*draft*) (Moonesun, et al., 2015). Dapat dilihat pada Gambar II. 4 merupakan salah satu contoh kapal selam dalam keadaan *surface*.



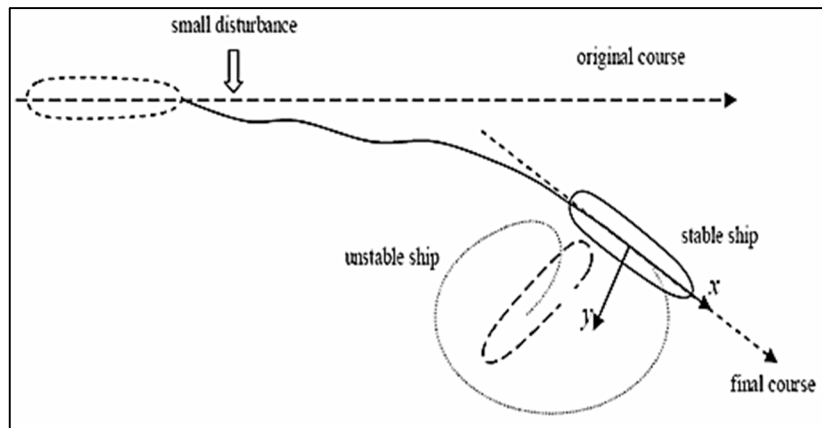
Gambar II. 4. Kondisi *submarine* pada *surfaced condition*

II.2. *Maneuverability* Kapal

Maneuverability merupakan kemampuan gerakan kapal untuk berbelok maupun untuk berputar pada saat berlayar. Kemampuan ini tentunya akan sangat menentukan keselamatan dan efisiensi kapal dalam pelayarannya. Secara prinsip *maneuverability* kapal sangat dipengaruhi oleh perancangan badan kapal, sistem propulsi dan sistem kemudi. Sejumlah elemen tersebut secara langsung memberi pengaruh yang signifikan terhadap gaya dan momen hidrodinamika saat kapal melakukan *maneuver*. Hal lain yang juga berpengaruh adalah akibat kondisi pemuatan kapal selama beroperasi. Ditinjau dari segi keselamatan kapal, kemampuan olah gerak kapal adalah salah satu faktor yang penting diperhatikan. Selain bentuk lambung kapal, sistem penggerak dan sistem kemudi, terdapat sejumlah parameter lain yang turut mempengaruhi kemampuan *maneuvering* kapal diantaranya adalah kecepatan kapal, trim haluan, perubahan sarat, pengaruh pusat daya apung memanjang, perbandingan panjang dan lebar kapal, diameter daun baling-baling kapal, luasan daun kemudi dan dimensi lunas.

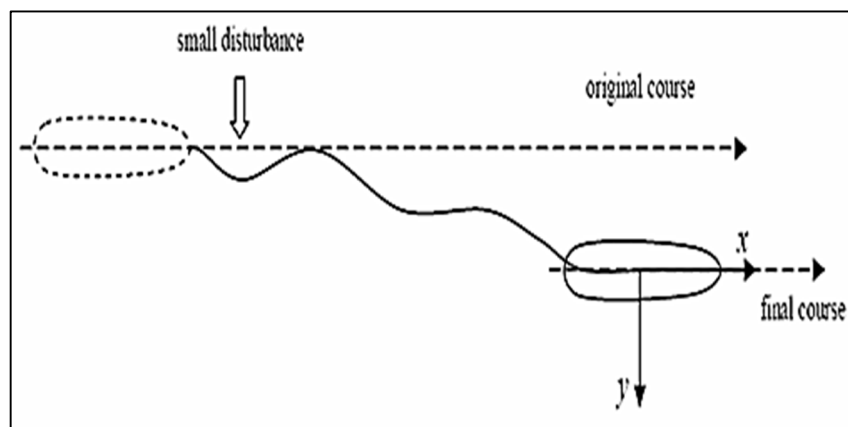
Beberapa jenis *maneuverability* kapal diantaranya adalah:

1. *Inherent Dynamic Stability* yang juga biasa disebut dengan *straight line stability*. Yaitu perubahan arah gerakan kapal sebagai akibat pengaruh gaya-gaya luar namun tanpa gaya dari daun kemudi seperti yang terlihat pada Gambar II. 5. Penyimpangan arah gerakan kapal ini dari arah gerakannya semula tergantung dari besar lamanya gaya yang terjadi.



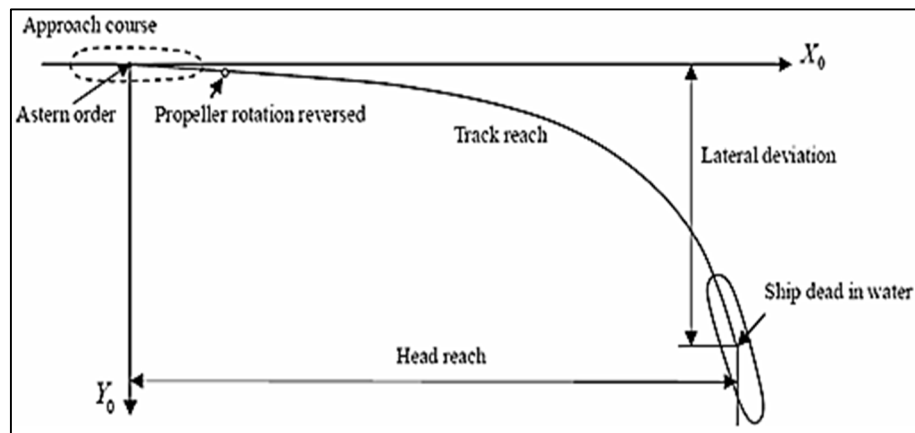
Gambar II. 5. *Inherent Dynamic Stability*

2. *Course-Keeping ability* atau juga disebut dengan *directional stability*. Yaitu kemampuan kapal untuk tetap mempertahankan arah gerakannya. Kapal dengan stabilitas dinamis yang buruk (tidak stabil) akan mudah mengalami perubahan arah gerakan kapal sehingga untuk mempertahankan arah gerakannya diperlukan gaya-gaya dari daun kemudi, seperti yang terlihat pada Gambar II. 6 di bawah ini.



Gambar II. 6. *Course-Keeping ability*

3. *Initial Turning* atau *Course Changing ability*. Yaitu kemampuan kapal untuk merubah arah gerakannya sebagai respon dari gaya yang dihasilkan oleh daun kemudi. Kapal dikatakan memiliki *Initial turning / Course Changing ability* yang baik bila arah gerakan kapal segera berubah setelah daun kemudi dibelokkan.
4. *Yaw checking ability*. Yaitu kemampuan kapal untuk merespon ke arah yang berlawanan dengan arah gerakan daun kemudi.
5. *Turning ability*. Yaitu kemampuan kapal untuk berputar karena adanya gaya dari daun kemudi.
6. *Stopping ability*. Yaitu kemampuan kapal untuk berhenti (motor penggeraknya dimatikan) setelah melakukan gerakan *steady turning* pada kecepatan penuh. Dapat dilihat sketsa terjadinya *stopping ability* pada Gambar II. 7 di bawah ini.



Gambar II. 7. *Stopping ability*

II.3. Gerakan pada Kapal

Terdapat enam derajat kebebasan (*degree of freedom/DOF*) pada gerakan kapal. Pertama, ada tiga koordinat dengan penurunan fungsi waktu untuk posisi dan gerak translasi sepanjang sumbu x , y , dan z . Sedangkan tiga koordinat lainnya dan penurunan fungsi waktu digunakan untuk mendeskripsikan orientasi dan gerak rotasi. Untuk bangunan apung, enam gerakan kebebasan dikenal dengan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. (Fossen, 1994)

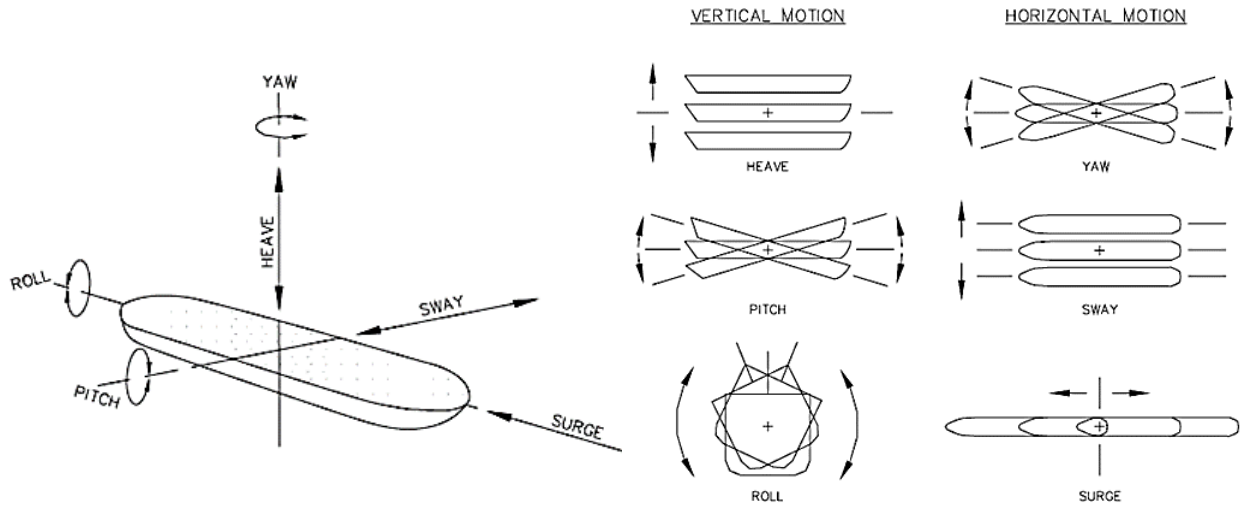
Pada Tabel II. 1 berikut diberikan notasi untuk enam derajat kebebasan yang digunakan:

Tabel II. 1. Notasi yang digunakan untuk bangunan apung
(Fossen, 1994)

No	DOF	Gaya dan Momen	Kecepatan Linier dan Anguler	Posisi dan Sudut <i>Euler</i>
1	<i>Surge</i>	X	u	x
2	<i>Sway</i>	Y	v	y
3	<i>Heave</i>	Z	w	z
4	<i>Roll</i>	K	p	ϕ
5	<i>Pitch</i>	M	q	θ
6	<i>Yaw</i>	N	r	ψ

Pada dasarnya kapal yang berada di atas permukaan laut akan selalu memperoleh gaya eksternal yang menyebabkan kapal bergerak (*ship movement*). Gerakan kapal ini disebabkan adanya gaya dari luar, terutama oleh gelombang. Dalam memperoleh perlakuan dan gelombang kapal mengalami 2 jenis gerakan yaitu :

1. Mode gerak translasi
 - a. *Surge*, gerakan osilasi translasional arah sumbu x
 - b. *Sway*, gerakan osilasi translasional arah sumbu y
 - c. *Heave*, gerakan osilasi translasional arah sumbu z
2. Mode gerak rotasi
 - a. *Roll*, gerakan osilasi rotasional arah sumbu x
 - b. *Pitch*, gerakan osilasi rotasional arah sumbu y
 - c. *Yaw*, gerakan osilasi rotasional arah sumbu z



Gambar II. 8. Mode Enam Derajat Kebebasan (DOF) pada Kapal
(Bhattacharyya, 1978)

II.4. Persamaan Gerak pada Kapal Selam

Persamaan gerak untuk kapal selam sama dengan persamaan gerak dasar untuk kapal biasa. Persamaan gerak didasarkan pada Hukum Newton II. Dalam hal ini gaya, pada sisi bagian kiri dari persamaan adalah gaya hidrodinamik yang bekerja pada kapal selam, sedangkan pada sisi bagian kanan adalah dinamika benda tegar. Persamaan ini diubah menjadi sumbu tetap, dan pada sisi bagian kanan persamaan diberikan sebagai berikut (Renilson, 2015):

$$X = m[\dot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q})] \quad (1)$$

$$Y = m[\dot{v} - wp + ur + x_G(qp + \dot{r}) - y_G(r^2 + p^2) + z_G(pr + \dot{p})] \quad (2)$$

$$Z = m[\dot{w} - uq + vp + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p}) + z_G(p^2 + q^2)] \quad (3)$$

$$K = I_{xx}\dot{p} + (I_{xx} - I_{yy})qr - (\dot{r} + pq)I_{zx} + (r^2 - q^2)I_{yz} + (pr - \dot{q})I_{xy} \\ + m[y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] \quad (4)$$

$$M = I_{xx}\dot{r} + (I_{xx} - I_{zz})qr - (\dot{p} + qr)I_{xy} + (p^2 - r^2)I_{zx} + (qp - \dot{r})I_{yx} \\ - m[x_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{u} - vr + wq)] \quad (5)$$

$$N = I_{zz}\dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq - (\dot{q} + rp)I_{yx} + (q^2 - p^2)I_{xy} + (rq - \dot{p})I_{zx} \\ + m[x_G(\dot{v} - wp + ur) - y_G(\dot{u} - vr - wq)] \quad (6)$$

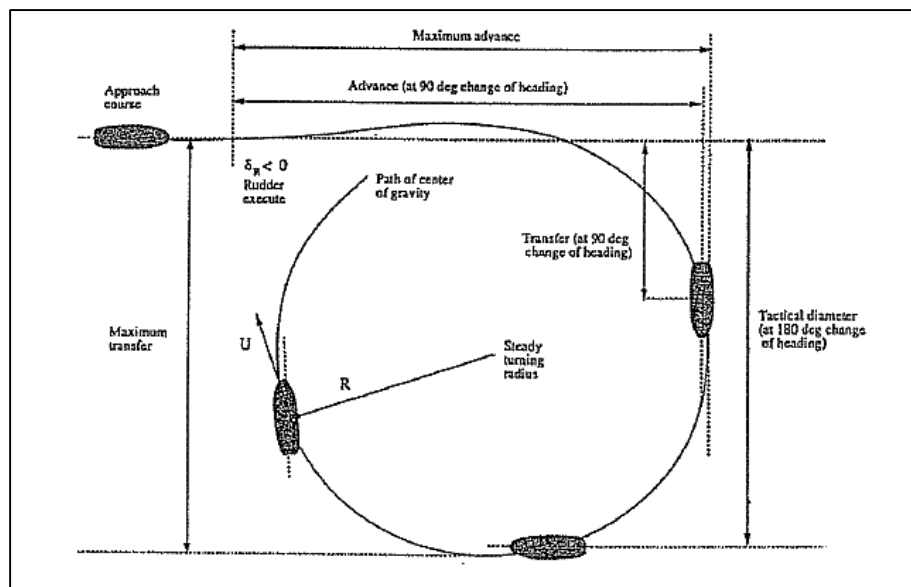
Jika sumbu asal diambil pada posisi memanjang, dan melintang pusat gravitasi, maka keduanya, x_G dan y_G akan sama dengan nol, untuk menyederhanakan persamaan ini.

X , Y , Z , K , M , dan N merupakan gaya hidrodinamik total *surge*, *sway*, dan *heave*, sedangkan *roll*, *pitch* dan *yaw* merupakan momen. Jika gaya hidrodinamik dan momen dapat ditentukan sebagai fungsi waktu untuk manuver kapal selam, maka manuver dapat disimulasikan. Selain itu, jika efek geometri pada gaya dan momen dipahami, maka hal tersebut dapat digunakan untuk membantu dalam proses mendesain kapal selam.

II.5. *Turning Maneuver (Turning Circle)*

Turning maneuver, mulai dari gerak lurus dengan laju konstan, *rudder* dihidupkan dengan kecepatan maksimum ke sudut δ (sudut kemudi maksimum) dan tetap pada sudut tersebut, sampai kapal telah melakukan *turning maneuver* paling kurang 540° . Respon kapal karena defleksi daun kemudi dan gaya serta momen yang dihasilkan daun kemudi dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

- *Transient* awal dimana terjadi percepatan *surge*, *sway*, dan *yaw*.
- Bagian belok tetap (*steady turning*) yang mana kecepatan belok dan kecepatan maju adalah tetap dan lintasan kapal adalah bulat (*circular*)



Gambar II. 9. *Turning Circle*

(Fossen, 1994)

Beberapa parameter yang digunakan untuk mendefinisikan kinerja kapal pada saat berputar seperti yang terlihat pada Gambar II. 9 adalah:

- *Drift angel* (sudut drift), adalah sudut antara haluan kapal dan arah gerakan. Sudut tersebut bervariasi sepanjang kapal.
- *Advanced*, merupakan jarak dari pelaksanaan awal ke sumbu x pada kapal ketika telah berbelok 90° .
- *The transfer*, merupakan jarak dari jalur ke awal mula kapal ketika sumbu x pada kapal telah berbelok 90° .
- *The tactical diameter*, merupakan jarak dari jalur awal ke sumbu x pada kapal ketika kapal telah berbelok 180° .
- *The diameter of the steady turning circle*, diameter dari lingkaran yang terus-menerus berputar. Kondisi tetap biasanya dihubungkan pada beberapa titik antara perubahan 90° dan 180° dari perubahan pos.

Turning circle maneuver harus dilakukan pada kedua bagian sisi kapal dengan sudut maksimum kemudi yang diperbolehkan pada tes kecepatan. Informasi penting yang akan diperoleh dari manuver ini adalah *tactical diameter*, *advanced*, dan *transfer*.

II.5.1. Tahapan pada *Turning Maneuver*

Pada saat kapal sedang melaju pada lintasan yang lurus dan kemudian dibelokkan dan dipertahankan pada sudut tertentu, maka lintasan yang akan dihasilkan oleh kapal dapat dibagi menjadi empat fase, yaitu:

1. Fase Persiapan

Pada fase persiapan, dimulai ketika kapal mulai bergerak lurus dari kondisi diam hingga mencapai kecepatan yang diinginkan. Fase ini akan berakhir pada saat kapal mulai menggerakkan kemudi. Titik ini lah yang dinamakan sebagai titik awal atau sumbu awal. Kondisi yang terjadi pada fase ini kecepatan kapal searah sumbu Y, percepatan kapal searah sumbu Y, kecepatan sudut, percepatan sudut, sudut defleksi kemudi, dan *drift angle* sama dengan nol ($v, r, \dot{v}, \dot{r}, \delta, \beta = 0$)

2. Fase Pertama

Pada fase pertama inilah fase dimulai saat kemudi mulai bergerak hingga membentuk sudut penuh. Selama berlangsungnya periode ini, gaya kemudi Y_δ , δ_R dan momen kemudi, N_δ , δ_R menghasilkan percepatan dan arahnya berlawanan dengan reaksi inersia kapal, hal ini terjadi karena pada saat terbentuk *drift angle*, β atau putaran, r yang ada belum sempat menimbulkan peningkatan gaya

hidrodinamika. Kondisi yang terjadi pada fase pertama ini, $\dot{v}, \dot{r}, \delta, \beta \neq 0$ $r, v \sim 0$.

Persamaan gerakan linear pada tahap ini adalah

$$\begin{aligned}(\Delta - Y_v)\dot{v} - Y_r\dot{r} &= Y_\delta\delta_R \\(I_z - N_r)\dot{r} - N_v\dot{v} &= N_\delta\delta_R\end{aligned}\tag{7}$$

3. Fase Kedua

Pada fase ini dimulai saat kemudi telah mencapai defleksi maksimum dan kemudian sudut ini dipertahankan. Pada fase ini percepatan kapal berdampingan dengan kecepatan. Masa kritis terjadi pada saat awal mulainya fase kedua belok adalah timbulnya gaya Y_v positif ke kanan menuju ke titik pusat belok, hasil dari *drift angle*, β . Gaya ini menjadi besar daripada gaya $Y_\delta\delta_R$ yang mengarah ke kiri. Hal ini mengakibatkan percepatan \dot{v} berhenti membesar ke kiri dan akhirnya berkurang menuju nol karena gaya Y_v seimbang dengan gaya sentrifugal kapal. Akan tetapi pada fase kedua ini, lintasan titik berat kapal pada reaksi awal terhadap gaya $Y_\delta\delta_R$ dan cenderung ke kiri sebelum Y_v menjadi besar untuk melaksanakan belok ke kanan. Fase kedua ini diakhiri dengan menurunnya percepatan kapal searah sumbu Y dan percepatan sudut kapal sehingga mendekati nol, pada fase ini kapal telah menikung dengan kecepatan yang lebih kecil dari kecepatan mula. Begitu juga dengan kecepatan sudut.

4. Fase Ketiga

Pada fase ketiga merupakan berakhirnya fase kedua belok dengan keseimbangan gaya terakhir. Pada saat keseimbangan gaya ini berakhir, kapal akan terus berbelok dengan jari-jari tetap. Pada fase ini harga r dan v adalah tetap sedangkan harga $\dot{v} = \dot{r} = 0$. Pada fase ini persamaan gerak menjadi (Fossen, 1994):

$$\begin{bmatrix} -Y_v & mu_o & -Y_r \\ -N_v & mx_G u_o & -N_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_\delta \\ N_\delta \end{bmatrix} \delta_r\tag{8}$$

Eliminasi v , menjadi:

$$r = \frac{(Y_v N_\delta - N_v Y_\delta)}{Y_v(N_r - mx_G u_o) - N_v(Y_r - mu_o)} \delta_r\tag{9}$$

Karena itu, *turning* radius pada kapal dapat didefinisikan sebagai:

$$R = \frac{U}{r}; \text{ dimana } U = \sqrt{u^2 + v^2}\tag{10}$$

Sehingga, rasio (R/L) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\left(\frac{R}{L}\right) = \left(\frac{U}{L}\right) \frac{C}{(Y_v N_\delta - N_v Y_\delta)} \frac{1}{\delta} \quad (11)$$

Dimana c merupakan *stability derivatives*, yaitu

$$C = Y_v(N_r - m x_G u_o) - N_v(Y_r - m u_o) > 0 \quad (12)$$

Dengan nilai Y_v selalu kurang dari nol, N_δ kurang dari nol untuk *after rudder*, Y_δ selalu kurang dari nol, dan N_v kurang dari nol untuk kebanyakan kapal. Pada kasus tertentu, dimana N_v lebih besar dari nol, N_v akan menjadi kecil sehingga $Y_v N_\delta > N_v Y_\delta$. Dari persamaan (11) hal ini terlihat bahwa stabilitas meningkat sehingga mengakibatkan *turning* radius juga akan meningkat. Akibatnya, kapal dengan nilai stabilitas yang tinggi membutuhkan usaha untuk *maneuvering* yang lebih besar. Persamaan non- dimensional dari rasio (R/L) dapat dituliskan sebagai berikut:

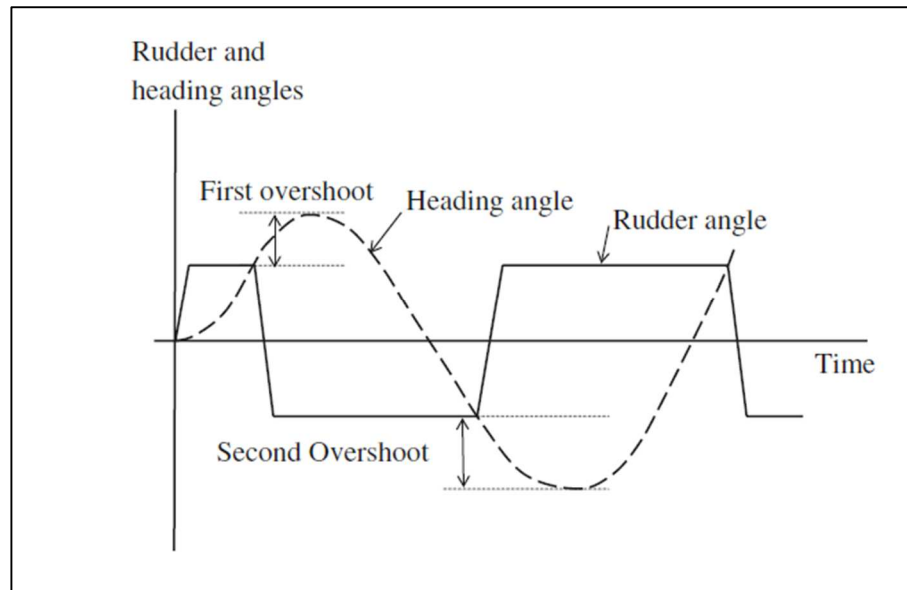
$$\left(\frac{R}{L}\right) = \frac{Y_v'(N_r' - m' x_{G'}) - N_v'(Y_r' - m')}{(Y_v' N_\delta' - N_v' Y_\delta')} \frac{1}{\delta} \quad (13)$$

$$R = \frac{Y_v'(N_r' - m' x_{G'}) - N_v'(Y_r' - m')}{(Y_v' N_\delta' - N_v' Y_\delta')} \frac{1}{\delta} L \quad (14)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa jari-jari belokan R berbanding lurus dengan L, berbanding terbalik dengan sudut defleksi daun kemudi δ_R . Sebagian kapal mempunyai diameter belok sebesar 2 hingga 4 kali panjang kapal pada sudut daun kemudi maksimum dan beberapa kapal mempunyai diameter belok dua kali panjang atau kurang.

II.6. Zig-zag Maneuver

Zig - zag maneuver, atau yang biasa disebut dengan manuver Kempf setelah G. Kempf, dilakukan untuk mempelajari lebih dekat respon awal dari sebuah kapal untuk gerakan kemudi. Sebuah tes *zig-zag* harus dimulai untuk kedua bagian *starboard* dan *portside* dengan menerapkan sudut kemudi. Tes *zig-zag* 10°/10° menggunakan sudut kemudi 10° pada kedua sisi dengan *heading* 10°.



Gambar II. 10. *Zig-zag Maneuver*
(Renilson, 2015)

Beberapa pengukuran penting dari *Zig-zag Maneuver* ini antara lain:

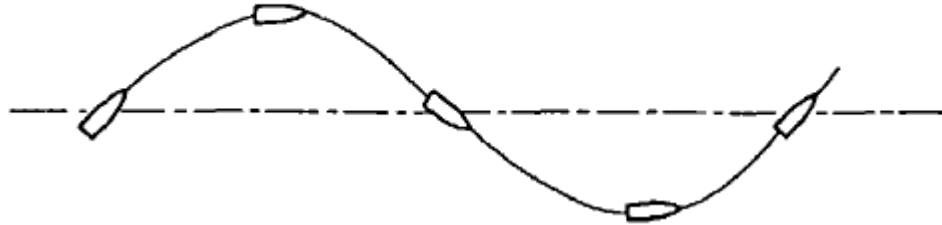
- *Overshoot angle* adalah jumlah dari pertambahan *heading* setelah kemudi berbalik. Sudut yang besar akan membuat juru mudi mengalami kesulitan dalam memutuskan kapan akan menggunakan kemudi untuk memeriksa putaran. Sudut tersebut tidak bergantung pada panjang kapal.
- Waktu untuk membalikkan kemudi pertama dan perubahan maksimal *heading* pertama. Waktu akan proporsional terhadap panjang.
- Sudut *overshoot* yang tetap dan periode berputar sekali dalam kondisi stabil dapat tercapai.

Informasi penting yang akan diperoleh dari tes ini adalah sudut *overshoot*, waktu perubahan awal ke *execute* kedua dan waktu untuk memeriksa *yaw*.

II.6.1. *Planar Motion Mechanism*

Planar Motion Mechanism pada dasarnya terdiri dari dua aktuator elektromekanik yang dapat dipasang secara vertikal atau horizontal untuk frame uji kereta. Model kapal dapat dihubungkan dengan cara satu set dilepas konektor mekanik yang memungkinkan model *heave*, *pitch*, dan *roll* bebas dengan PMM di posisi horizontal dan *roll* bebas dalam arah vertikal. Jenis tes yang menggunakan PMM adalah *Pure sway*, *Pure yaw*, *Pure surge*, *Pure heave*, *Pure roll*, *Pure pitch*.

Pada tugas akhir ini dilakukan perhitungan untuk menganalisa *zig-zag maneuver* dengan menggunakan persamaan pada *horizontal planar motion mechanism*. Perhitungan yang dilakukan adalah untuk mendapatkan osilasi pada *yaw*.



Gambar II. 11. *Pure yawing*

Dengan persamaan osilasi pada *yaw* sebagai berikut:

$$\psi = -\psi_o(\cos \omega t - \varepsilon/2) \quad (15)$$

Dimana,

ψ_o = sudut kapal

ω = kecepatan sudut

$$= v/r$$

r = radius

Setelah mendapatkan grafik osilasi pada *yaw*, maka dapat dilakukan analisa batasan untuk *zig-zag maneuver test*.

II.7. *Hydrodynamic Coefficient*

Pada tahap desain awal, rumus empiris untuk koefisien hidrodinamika yang didasarkan pada prinsip dasar kapal telah banyak digunakan oleh desainer kapal untuk mensimulasikan manuver kapal. Metode prediksi empiris ini menggunakan koefisien hidrodinamika berguna dalam perhitungan untuk efek prinsip dasar dan spesifikasi kemudi perubahan untuk prediksi manuver pada tahap desain awal .

Keberhasilan simulasi manuver sangat bergantung pada pengetahuan kita tentang gaya hidrodinamik dan cara-cara untuk mendapatkannya. Prediksi dari gaya hidrodinamik yang bekerja pada manuver kapal umumnya dengan metode sebagai berikut :

- Metode empiris atau semi – empiris, dimana database dari hasil uji model atau metode alternatif yang digunakan untuk mendapatkan berbagai koefisien derivatif hidrodinamik berdasarkan karakteristik utama dari lambung.
- Metode pendekatan teoritis atau numerik seperti CFD , menggunakan metode *viscous* atau *flow method*.
- Metode Identifikasi sistem dimana gaya pada lambung yang berasal dari hasil uji coba dengan skala penuh yang kemudian digunakan untuk menentukan derivatif.

Berdasarkan “*DTNSRDC Revised Standard Submarine Equations Of Motion*” *hydrodynamic derivatives* untuk *submarine* adalah sebagai berikut:

$$m' = \frac{m}{1/2 \rho L^3} \quad (16)$$

$$Y'_v = \frac{Y_v}{1/2 \rho L^2} \quad (17)$$

$$Y'_r = \frac{Y_r}{1/2 \rho L^3} = X'_{\dot{u}} + \frac{X_p}{L} Y'_v \quad (18)$$

$$N'_v = \frac{N_v}{1/2 \rho L^3} = -(X'_{\dot{u}} - Y'_v) + \frac{X_p}{L} Y'_v \quad (19)$$

$$N'_r = \frac{N_r}{1/2 \rho L^4} = \frac{1}{4} Y'_v \quad (20)$$

$$Y'_\delta = \frac{Y_\delta}{1/2 \rho L^2} \quad (21)$$

$$N'_\delta = \frac{N_\delta}{1/2 \rho L^3} = \frac{1}{2} Y'_\delta \quad (22)$$

Dengan diketahuinya nilai koefisien hidrodinamik dari kapal, maka prediksi kemampuan manuver pada kapal dapat diketahui.

II.8. Analisa CFD

Simulasi numerik adalah proses pengujian besaran suatu model dengan menggunakan komputer. Simulasi numerik telah terbukti mampu menggantikan peran pengujian laboratorium menjadi pengujian virtual. Nilai yang dihasilkan melalui pengujian virtual tersebut sangat akurat bila keduanya dibandingkan. CFD (*Computational Fluid Dynamic*) merupakan ilmu sains penyelesaian numerik dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni. Berbagai kelebihan CFD antara lain meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk bila proses desain tersebut

dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi. Selain itu CFD memiliki kemampuan sistem yang mampu mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen. CFD juga dikenal memiliki kemampuan untuk kasus-kasus di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (misalnya studi keselamatan dan skenario kecelakaan). Dan yang paling utama, ketepatan CFD selalu terkontrol selama perancangan.

II.8.1. Governing Equation

Dasar yang fundamental pada hampir semua masalah CFD adalah persamaan Navier-Stokes (diambil dari nama Claude Louis Navier dan George Gabriel Stokes), yang menjelaskan pergerakan dari suatu fluida seperti cairan dan gas (Couser, 2002). Dalam persamaan ini, asumsi pertama adalah bahwa fluida bersifat *incompressible* (tidak dapat dimampatkan), yang mengarah ke persamaan lain: kekekalan massa (*conservation of mass*).

Bentuk umum persamaan Navier-Stokes:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f \quad (23)$$

di mana:

V = Kecepatan aliran

∇ = Perpindahan

ρ = masa jenis fluida

μ = *frictional resistance* yang merepresentasikan viskositas

f = gaya dari luar, misalnya gaya gravitasi

t = waktu

II.8.2. Metode Penyelesaian

Metode yang digunakan pada proses penyelesaian *governing equation* adalah metode diskrit. Beberapa metode diskrit yang digunakan adalah: *Finite Element Method* (FEM) dan *Finite Volume Method* (FVM). *Finite element method* (FEM) menggunakan fungsi bentuk sederhana (*linear* atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Sedangkan, *Finite Volume Method* (FVM) dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga.

II.8.3. Software

Produk yang digunakan pada penelitian ini adalah CFD-Software. Software yang digunakan ini merupakan software analisis elemen hingga (*finite element*), bisa

dipakai untuk melakukan analisis mekanika benda tegar, analisis fluida, dan analisis perpindahan panas. Ada beberapa tahapan umum yang terdapat pada simulasi untuk proses tersebut, yaitu: *pre processor*, *solver*, *post processor*.

3.8.3.1 *Pre Processor*

Pre processor mengandung input dari masalah fluida. Beberapa kegiatan yang masuk dalam bagian ini adalah:

- Pendefinisian dari geometri daerah kajian dan domain komputasi
- *Grid generation* yaitu pembagian domain ke domain domain yang lebih kecil yaitu *grid* atau *mesh* dari elemen elemen kecil (*cells*)
- Pemilihan fenomena fisik dan kimia dari masalah yang dimodelkan
- Pendefinisian properti fluida
- Spesifikasi kondisi batas yang sesuai pada *cell* yang bersinggungan dengan batas domain

Solusi dari masalah fluida didefinisikan pada titik di dalam tiap *cell*. Akurasi dari solusi CFD diatur oleh banyaknya jumlah *cell* dalam *grid*. Secara umum semakin besar jumlah *cell* maka akurasi dari solusi yang dihasilkan menjadi lebih baik. Semakin banyak jumlah *grid* maka biaya komputasi juga semakin besar. Oleh karena itu *grid* yang optimal memiliki *mesh* yang tidak seragam, dengan *mesh* yang halus di area yang terjadi perubahan dari titik satu ke titik lain dan *mesh* yang lebih kasar di area dengan perubahan properti relatif sedikit. Kemampuan yang juga dikembangkan adalah *self adaptive meshing* yaitu kemampuan memperhalus *grid* di daerah dengan variasi properti tinggi. Secara umum terdapat 2 bagian yang dominan di tahap Pre Processor ini yaitu definisi geometri dari domain dan *Grid generation* (Mahardika, 2007).

2.8.3.2 *Solver*

Terdapat beberapa teknik utama dalam mencari solusi numerik yaitu *finite difference*, *finite element* dan *spectral method*. Secara garis besar metode numeric yang menjadi dasar dari *solver* melakukan hal-hal sebagai berikut :

- Aproksimasi dari variabel aliran yang tidak diketahui dengan memakai fungsi-fungsi sederhana

- Diskritisasi dengan melakukan substitusi dari aproksimasi tersebut ke persamaan-persamaan alir dan dilanjutkan dengan manipulasi matematis

- Solusi dari persamaan aljabar

Metode lain dikembangkan dari ketiga metode tersebut, salah satunya metode volume hingga (*finite volume*). Metode ini merupakan pengembangan dari metode *finite difference* yang memiliki formulasi khusus. Algoritma numeriknya mengandung langkah sebagai berikut :

- Integrasi dari persamaan persamaan alir dari fluida sepanjang semua volume alir dari domain.
- Diskritisasi yang melibatkan substitusi dari berbagai macam aproksimasi *finite difference* ke persamaan yang diintegrasikan. Sehingga persamaan integral diubah menjadi persamaan aljabar.
- Solusi dari persamaan aljabar dengan metode iteratif (Mahardika, 2007).

2.8.3.3 Post Processor

Hasil perhitungan CFD dapat disajikan dalam bentuk gambar, grafik dan animasi dengan pola-pola tertentu. Pada tahap ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualisasi aliran fluida pada model. Hasil visual yang dapat ditampilkan dari fitur post processor ini di antaranya adalah sebagai berikut (Ahadiyanti, 2014):

- Geometri domain
- Geometri model
- Surface fluida
- Plot vektor
- Plot kontur
- Plot aliran fluida
- Animasi dan sebagainya

II.9. MATLAB

Matlab merupakan sebuah singkatan dari Matrix Laboratory, yang pertama kali dikenalkan oleh University of New Mexico dan University of Stanford pada tahun 1970. *Software* ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar

linier dan teori tentang matriks. Saat ini, kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dengan ditambahkan *toolbox-toolbox* yang sangat luar biasa. Beberapa manfaat yang didapatkan dari Matlab antara lain:

- Perhitungan Matematika
- Komputasi numerik
- Simulasi dan pemodelan
- Visualisasi dan analisis data
- Pembuatan grafik untuk keperluan sains dan teknik
- Pengembangan aplikasi, misalnya dengan memanfaatkan GUI

Matlab memberikan kemudahan untuk menemukan bantuan sehubungan dengan semua fasilitas yang diberikan oleh Matlab. Misalnya, bantuan tentang bagaimana memulai Matlab pertama kali, trik pemrograman, membuat grafik 2 dan 3 dimensi, menggunakan tool akuisisi data, pengolahan sinyal, penyelesaian persamaan diferensial parsial. Untuk memperoleh bantuan tersebut, kita dapat memilih **MATLAB Menu** dari menu **Help**. Untuk bantuan tentang Matlab sendiri, dibagi atas beberapa bagian antara lain:

- ***Development Environment***, bagian ini akan memberikan informasi yang lengkap mengenai desktop dari Matlab.
- ***Mathematics***, bagian yang menjelaskan bagaimana menggunakan fitur yang dimiliki oleh Matlab untuk dalam mengolah data matematis dan statistik. Isi dalam bantuan ini dicakup antara lain: Matriks dan aljabar linier, polinomial dan interpolasi, analisis data dan statistik, fungsi *function*, matriks jarang (*sparse matrix*).
- ***Programming and data type***, bagian ini menjelaskan bagaimana membuat *script* dan fungsi dengan menggunakan Matlab. Bantuan ini mencakup pemrograman M-File, larik, larik multidimensi, optimalisasi *performance* Matlab, tip pemrograman Matlab.
- ***Graphics***, bagian ini menjelaskan tentang bagaimana membuat atau mengeplot grafik dari data yang kita miliki. Yang termasuk dalam bagian ini antara lain, dasar-dasar pengeplotan, format grafik, membuat grafik khusus misalnya grafik dalam bentuk bar, histogram, contour dan lain-lain.
- ***3-D Visualization***, bagian ini menjelaskan dengan tuntas bagaimana menampilkan data yang kita miliki dalam grafik 3 dimensi, termasuk didalamnya

membuat grafik 3D, menentukan tampilan objek, transparansi objek, lighting dan lain-lain.

- **Creating Graphical User Interfaces**, bagian ini menjelaskan bagaimana kita dapat membuat GUI (*Graphical User Interface*) berbasis Matlab.

II.10. Kriteria *Maneuvering* pada *Submarine*

Dalam *maneuvering* sebuah kapal, prosedur yang digunakan mengacu kepada peraturan standar kemampuan *maneuver* kapal yang direkomendasikan oleh *International Maritime Organization* (IMO) yakni resolusi MSC.137 (76) annex.6 tertanggal 4 Desember 2002 dan mulai diterapkan sejak tanggal 1 Januari 2004, yang mana resolusi ini merupakan amandemen terhadap resolusi sebelumnya yakni A.751 (18) mengenai standar kemampuan *maneuver* kapal.

Tabel II. 2. Manuverabilitas Kapal oleh IMO
(Organization, 2002)

<i>Ability</i>	<i>Test</i>	<i>Criteria</i>
<i>Turning ability</i>	<i>Turning test with max. Rudder Angle (35°)</i>	<i>Advanced</i> <4,5 L <i>Tactical Diameter</i> <5,0 L
<i>Initial turning ability</i>	10° / 10° Z-test	<i>Distance ship run before 2nd rudder execution</i> < 2,5 L
<i>Stopping ability</i>	<i>Stopping test with full astern</i>	<i>Track reach</i> < 15 L
<i>Course-keeping and yaw-checking ability</i>	10° / 10° Z-test	<i>1st Overshoot</i> <10° (L/U<10s) <(5+0,5 (L/U))° (10s<L/U<30s) <20° (30s<L/U) <i>2nd Overshoot</i> <25° (L/U<10s) <(17,5+0,75(L/U))° (10s<L/U<30s) <40° (30s<L/U)

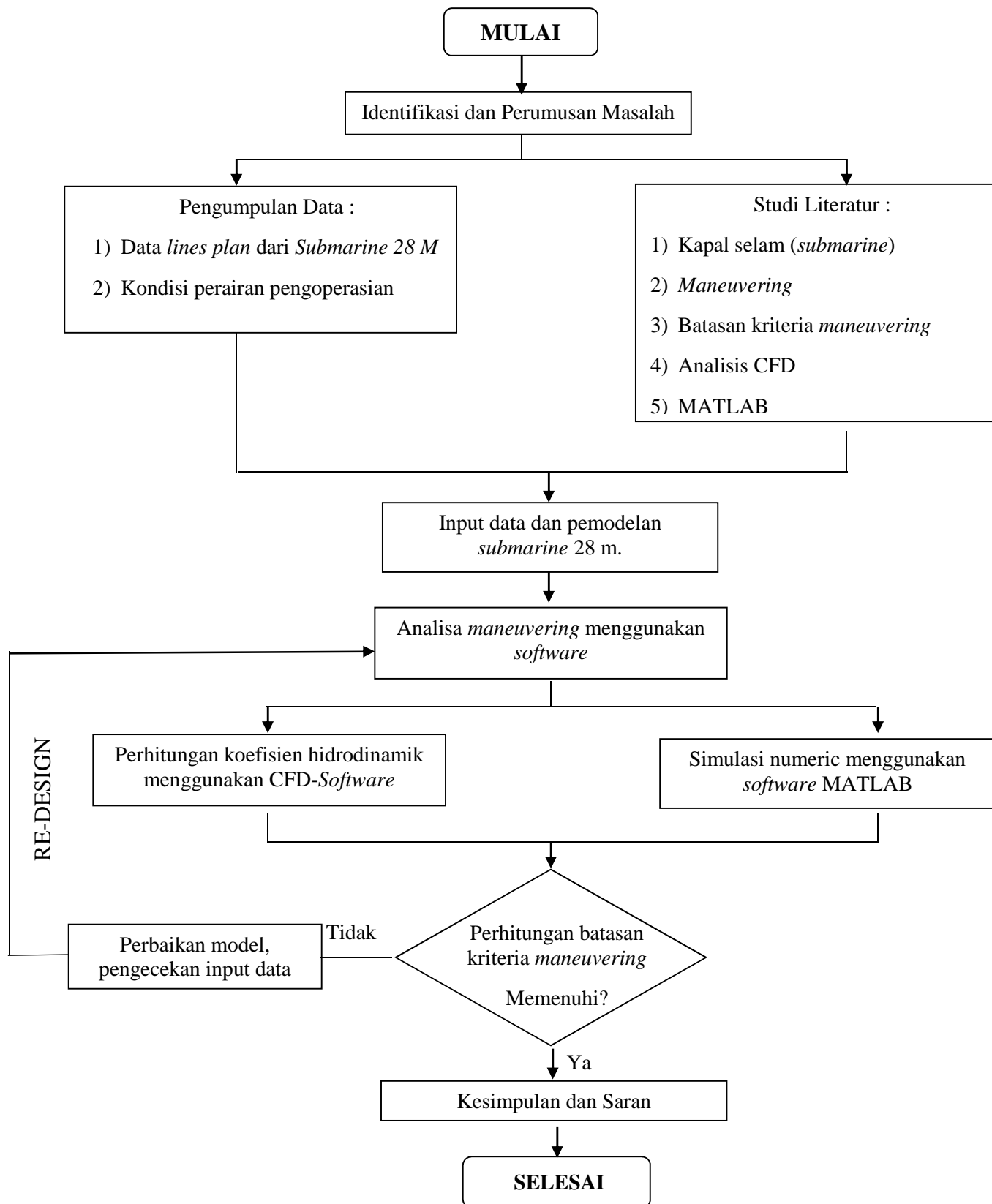
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI

Pada Bab II, telah diuraikan mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka dari pengerjaan Tugas Akhir ini. Untuk merealisasikannya, dibutuhkan perencanaan tentang metodologi pengerjaan dengan membuat diagram alir pengerjaan Tugas Akhir ini. Selanjutnya, harus diketahui pula tahapan yang harus dilakukan dalam proses pengerjaannya. Pada Bab III ini dituliskan tentang bagan alir dan tahap pengerjaan dari Tugas Akhir ini.

III.1. Bagan Alir



Gambar III. 1. Bagan Alir

III.2 Tahap Pengerjaan

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Sebelum melakukan penelitian terhadap suatu topik untuk Tugas Akhir ini, dilakukan terlebih dahulu identifikasi terhadap suatu topik yang dipilih. Untuk penelitian pada Tugas Akhir ini, dipilih topik penganalisaan *maneuvering* pada *Submarine* 28 M dari penelitian sebelumnya. Setelah identifikasi dilakukan pada *Submarine* 28 M, selanjutnya merumuskan masalah terhadap analisis *maneuvering* yang akan dilakukan pada *Submarine* 28 M tersebut.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pembelajaran dan pengumpulan teori-teori maupun kajian pustaka yang berkaitan dengan penganalisaan desain *Submarine* 28 M terhadap *maneuvering* kapal, meliputi gambaran umum *submarine*, manuver pada kapal, gerakan pada kapal, serta ANSYS-CFX dan MATLAB.

3. Pengumpulan Data

Untuk pengerjaan desain *submarine* 28 M berbasis analisis *maneuvering* ini, harus didapatkan data-data yang dibutuhkan, antara lain *principal dimensions* dan *lines plan*. Data-data tersebut didapatkan dari penelitian sebelumnya.

4. Input Data dan Pemodelan *submarine* 28 m

Setelah data berhasil dikumpulkan, dapat dilakukan penginputan data dan permodelan pada *Submarine* 28 M dengan *software Maxsurf Education Version* untuk selanjutnya dapat dilakukan analisis terhadap *seakeeping* pada kapal.

5. Analisis *Maneuvering Submarine* 28 M

1) Perhitungan *Turning Circle* dan *Zig-zag Maneuver*

Analisis *maneuvering* pada *Submarine* 28 M dilakukan menggunakan CFD-*Software* untuk mendapatkan nilai *longitudinal force* X, *transverse force* Y. Kemudian nilai tersebut akan digunakan untuk mencari nilai koefisien hidrodinamik dari kapal selam agar dapat menentukan besarnya *turning circle* dan *zig-zag maneuver*. Nilai-nilai tersebut akan dihitung menggunakan program yang dituliskan menggunakan bantuan *software* MATLAB.

2) Perhitungan untuk batasan kriteria pada *maneuvering Submarine* 28 M

Setelah nilai *turning circle* dan *zig-zag maneuver* didapatkan, dilakukan perhitungan terhadap batasan kriteria pada *maneuvering Submarine* 28 M. Perhitungan batasan kriteria yang akan dilakukan terdiri dari *tactical diameter* pada *turning circle*, *first overshoot* dan *second overshoot* pada *zig-zag maneuver*.

6. Kesimpulan dan Saran

Setelah didapatkan hasil dari perhitungan *turning circle* dan *zig-zag maneuver* serta perhitungan batasan kriteria pada *Submarine* 28 M, maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan. Selain itu, akan ada beberapa saran dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya yang sejenis. Maka, selanjutnya dapat dilakukan pembuatan laporan untuk penelitian ini.

III.3. Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik

Guna mendukung berjalannya proses perhitungan numerik dengan komputer, maka diperlukan spesifikasi tertentu dari komputer agar proses *running* berjalan dengan cepat. Adapun spesifikasi yang digunakan oleh penulis adalah:

- 1) *Processor* : Intel ® Core i7 – 3740QM CPU @2.70GHz
- 2) *Installed Memory (RAM)* : 4.00 GB (3.88 GB usable)
- 3) *System Type* : 64-bit Operating System
- 4) *Operating System* : Windows 7 Professional

BAB IV

PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI DENGAN SOFTWARE

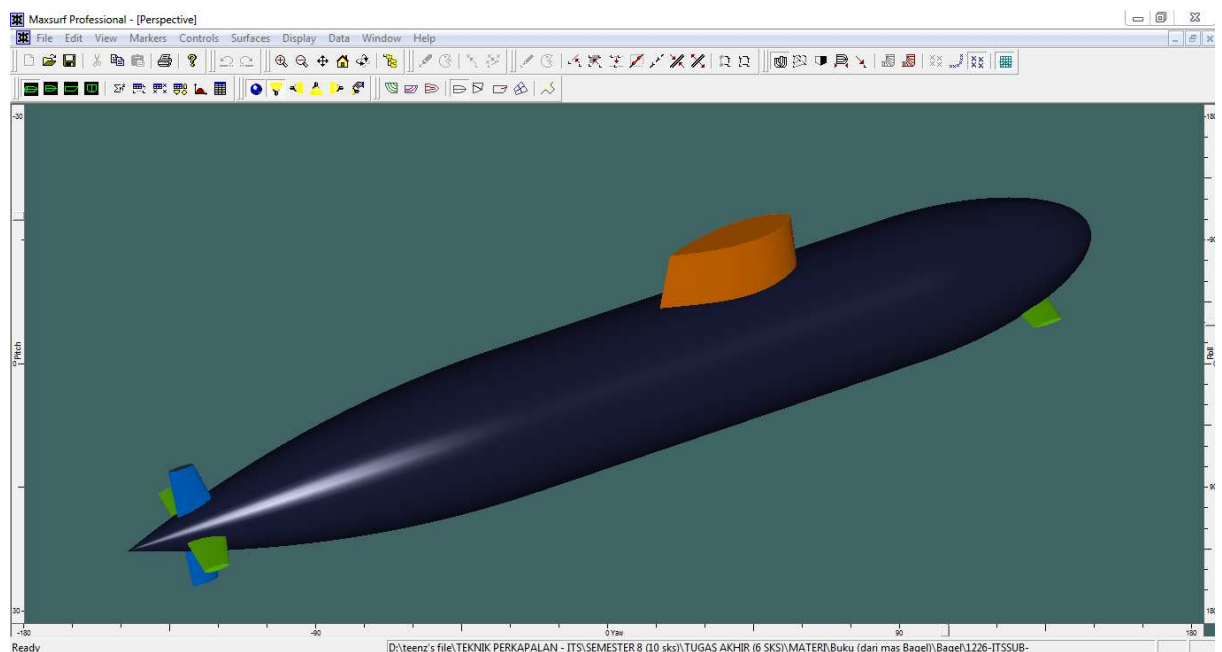
Pada Bab III, telah diuraikan mengenai metodologi dan langkah pengerjaan dari Tugas Akhir ini. Selanjutnya, pada Bab IV akan dilakukan proses pembuatan model serta simulasi dengan menggunakan CFD-*Software* untuk *submarine* 28 m.

IV.1. Data *Submarine 28 M*

Data kapal yang akan digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

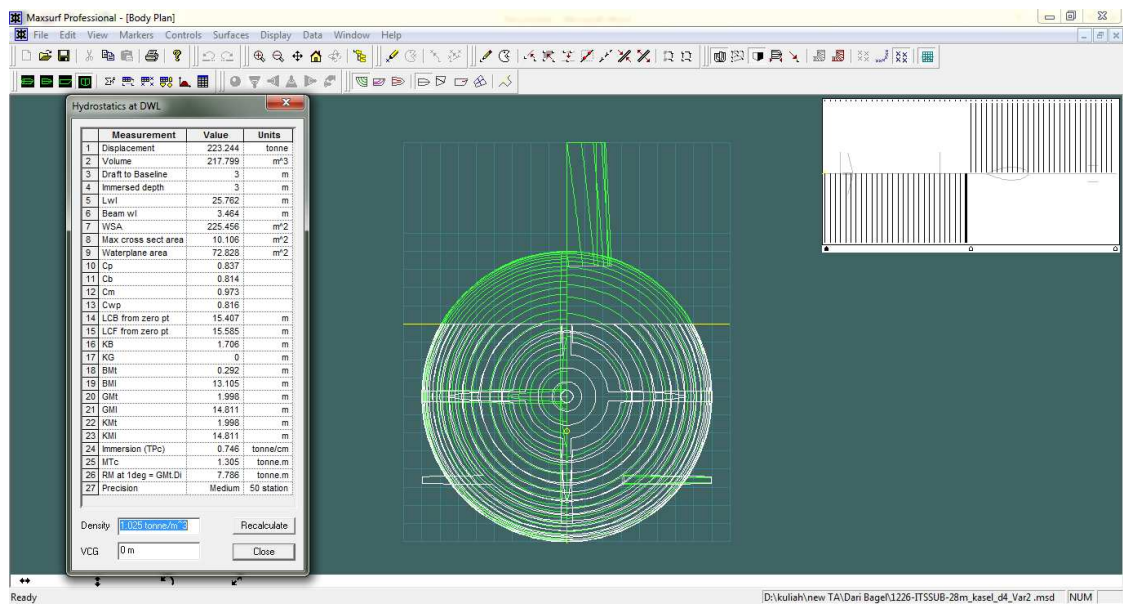
- Jenis kapal : Kapal Selam (*Submarine*)
- Kec. Maks (V_{max}) : 15,0 knot
- Panjang (Loa) : 28,000 m
- Panjang (Lwl) : 25,762 m
- Lebar (B) : 4,000 m
- Tinggi (H) : 4,000 m
- Kedalaman : 100,000 m
- Displasemen
 - Surfaced* : 223,244 ton
 - Submerged* : 275.206 ton
- Volume
 - Surfaced* : 217,799 m³
 - Submerged* : 268,494 m³

Berikut adalah tampilan rencana garis dari *Submarine 28 M* dari *Maxsurf Education Version*:



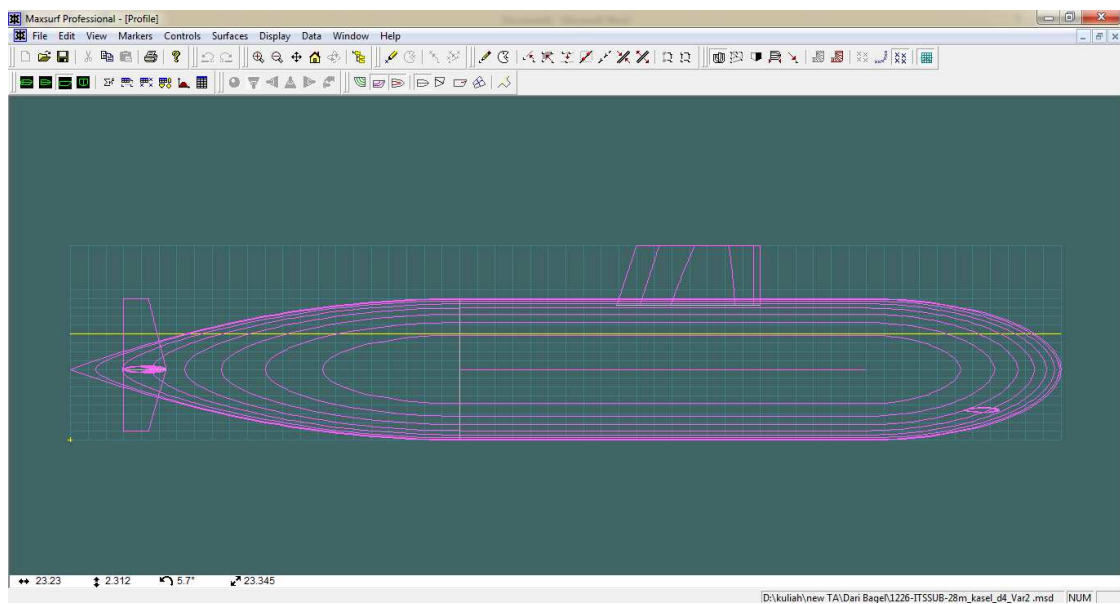
Gambar IV. 1. *Submarine 28 m* dalam 3 dimensi

Body Plan

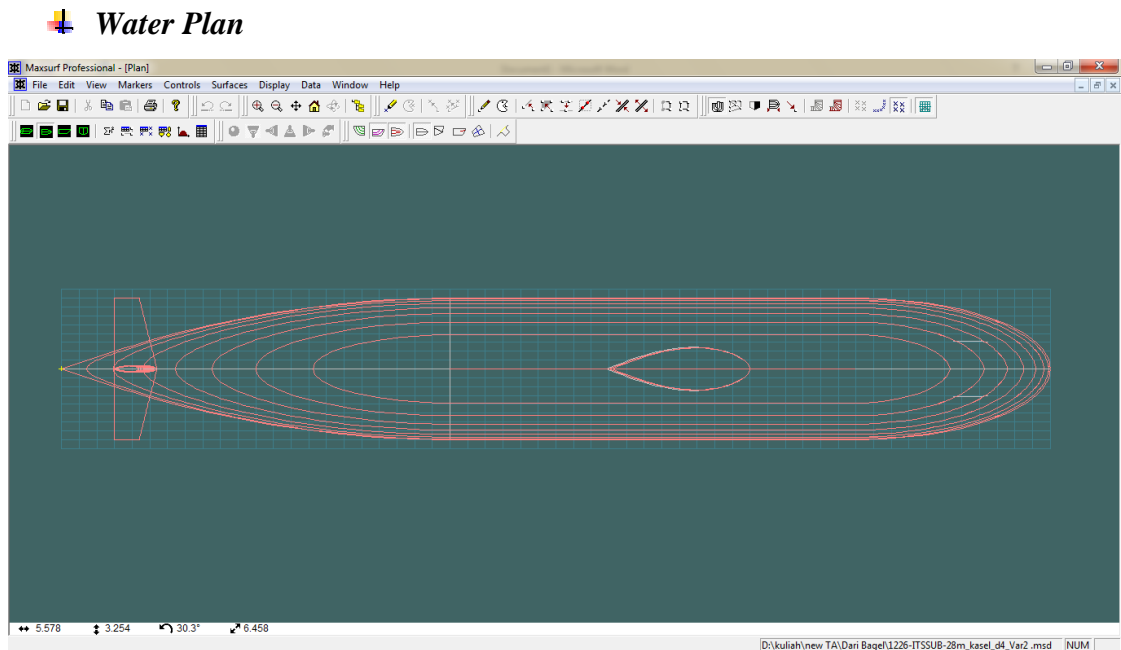


Gambar IV. 2. Submarine 28 m tampak depan

Sheer Plan



Gambar IV. 3. Submarine 28 m tampak samping

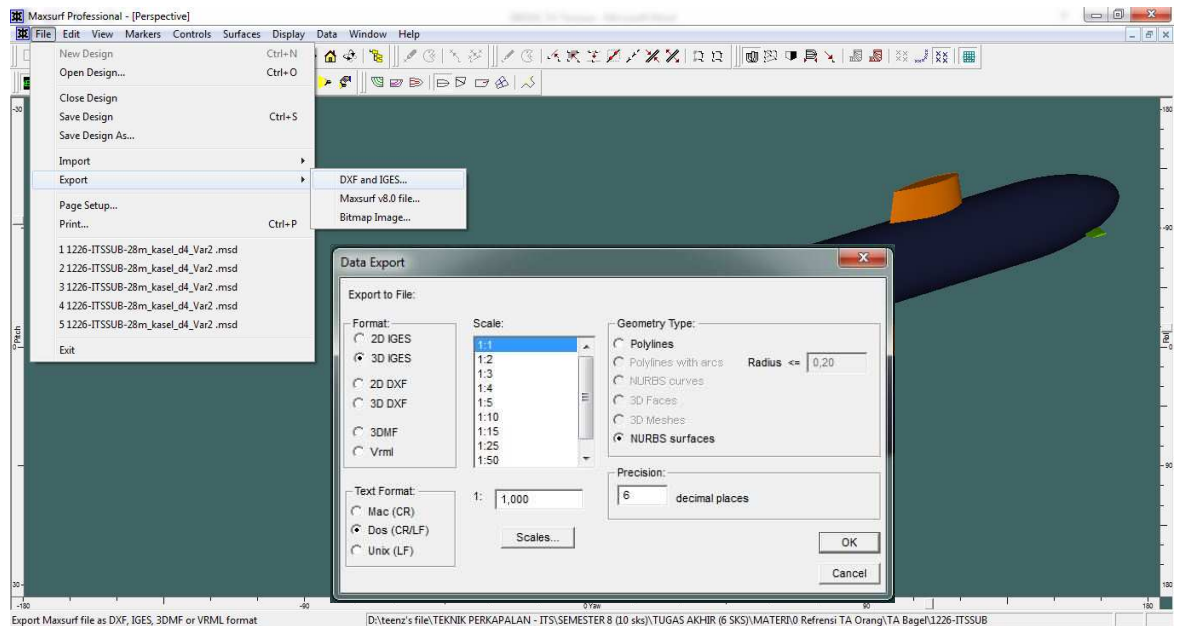


Gambar IV. 4. *Submarine 28 m tampak atas*

IV.2. Simulasi Model *Submarine 28 M* dengan *CFD-Software*

IV.2.1. Konversi Geometri

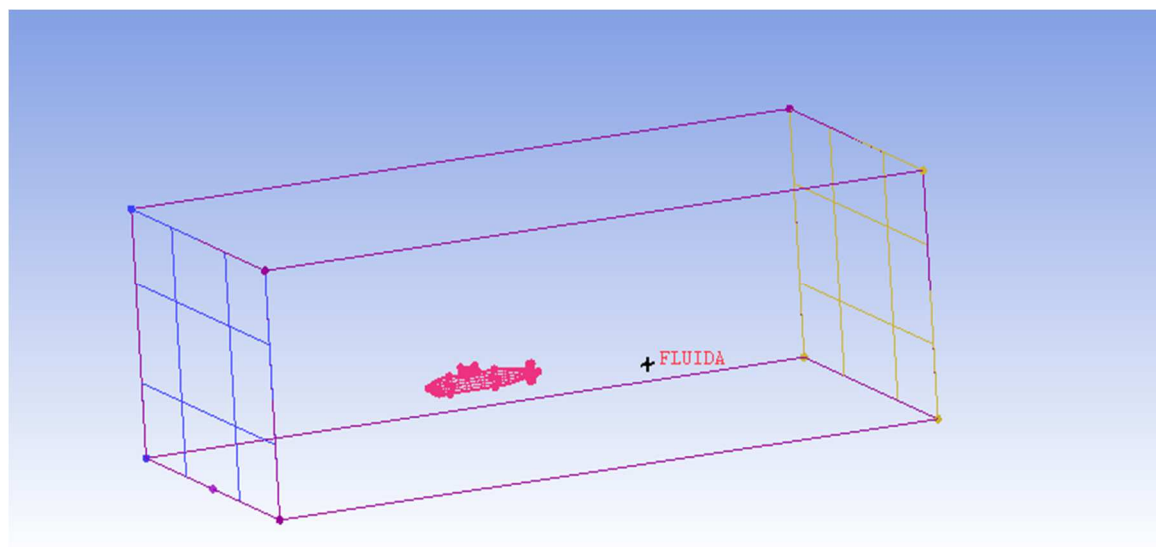
Pengerjaan *running* model *submarine 28 m* pada *software* CFD yang pertama kali dilakukan yaitu mengonversi model dari program *Maxsurf Education Version* ke *CFD-Software*. Geometri model pada program *Maxsurf* (.msd) harus dikonversi terlebih dahulu ke format (.igs), sehingga dapat dibaca pada *CFD-Software*. Langkah yang harus dilakukan adalah melakukan *export file* (.msd) pada *Maxsurf Education Version* menjadi bentuk *NURB 3D surface* (.igs) seperti yang terlihat pada Gambar IV. 5. Format (.igs) adalah salah satu format permodelan yang mampu dibaca oleh *CFD-Software*, sehingga hasil output (.igs) dari *Maxsurf Education Version* dapat digunakan sebagai inputan model pada *CFD-Software*.



Gambar IV. 5. Proses *export* file dari (.msd) ke (.igs)

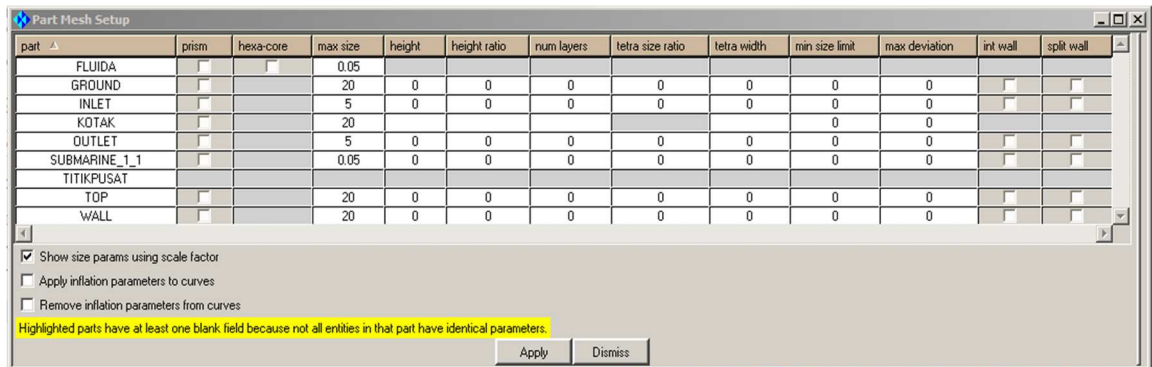
IV.2.2. Pengaturan Pemodelan pada CFD-Software

Setelah didapatkan file model dengan format (.igs), langkah selanjutnya yaitu membuka CFD-Software. Kemudian model yang telah dibuat menjadi format (.igs) dibuka dengan langkah File-Import Geometry- STEP/IGES-Klik file model *submarine* (.igs). Setelah model dapat dibuka, kemudian dilakukan pembuatan *domain* yang terdiri dari: *inlet*, *outlet*, *wall*, *top*, dan *bottom*. *Domain-domain* tersebut berbentuk persegi panjang yang diberi *surface* dan membentuk balok yang mengelilingi model kapal. Dapat dilihat pada Gambar IV. 6 yang merupakan proses pemberian domain pada model.

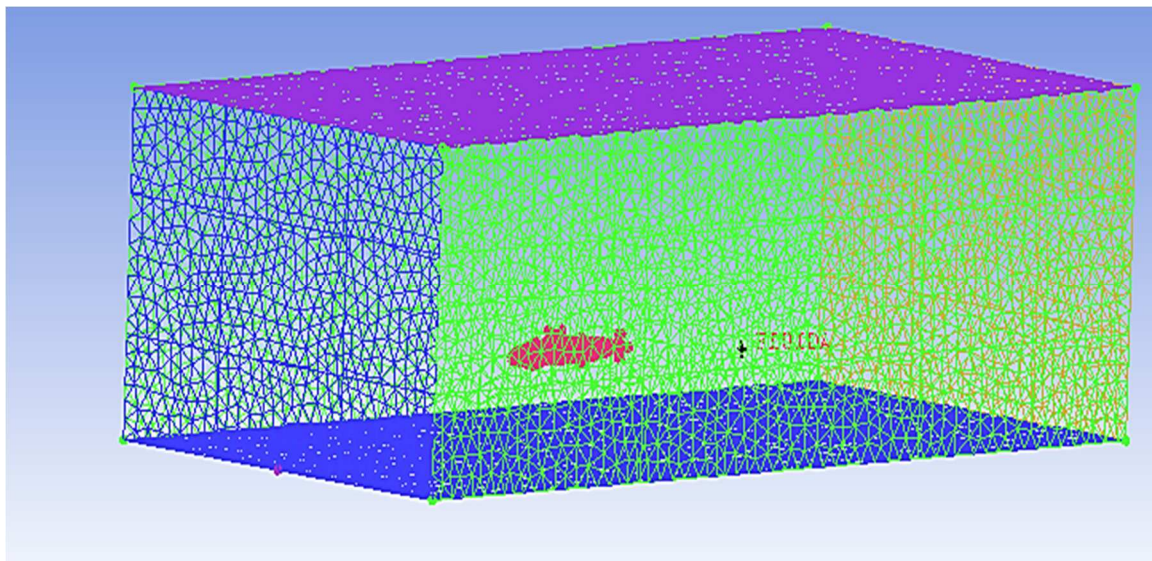


Gambar IV. 6. Pemberian domain komputasi (inlet dan outlet)

Setelah pemberian *domain*, tahap selanjutnya adalah proses pemberian *meshing*. Pada tahap ini ukuran *meshing* diberikan dengan perbandingan antara model dengan domain, seperti dapat dilihat pada Gambar IV. 7. Lamanya durasi proses *meshing* tergantung pada ukuran *meshing* dan jumlah elemen yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran *meshing*, maka akan semakin lama durasi proses yang diperlukan. Contoh hasil proses *meshing* pada model dapat dilihat pada Gambar IV. 8



Gambar IV. 7. Pemberian ukuran *meshing*



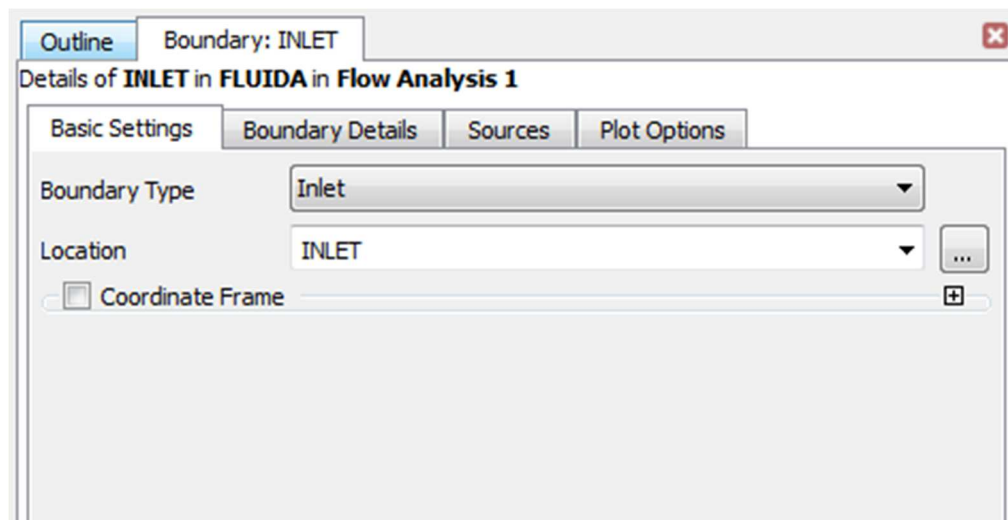
Gambar IV. 8. Hasil proses *meshing*

Setelah dilakukan proses *meshing*, model disetting *output* untuk CFD-*Software* agar proses *meshing* dapat terbaca oleh *software*.

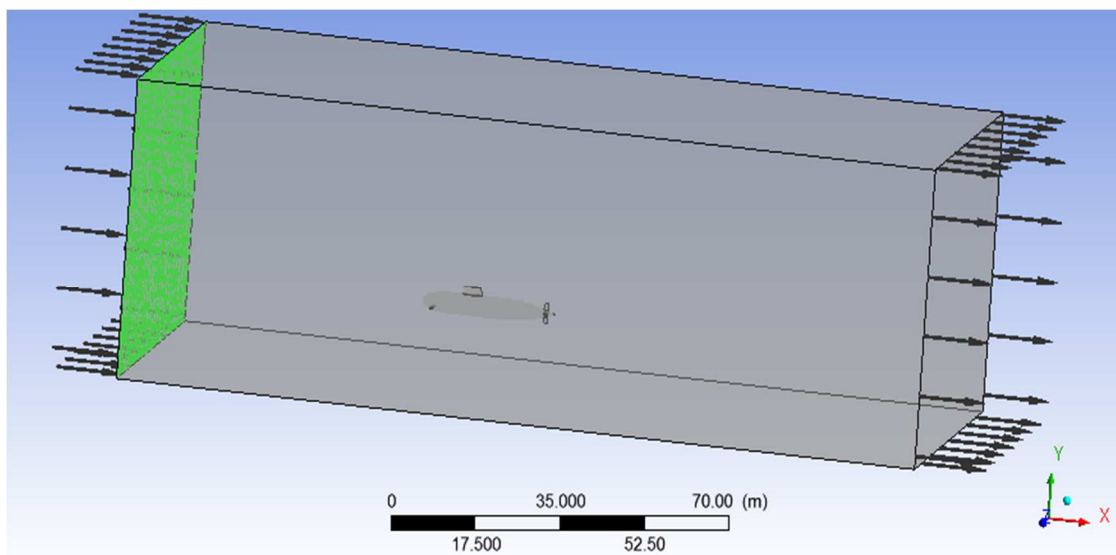
IV.2.3. Tahap *Pre Processor* pada CFD-*software*

Model yang telah di-*meshing* kemudian di-*import* untuk diatur kondisi batas (*boundary conditions*) yang sesuai untuk simulasi *full viscous*. Pada tahap ini

dilakukan pendefinisian batas (*boundary*) seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada batas *inlet* dimasukkan kecepatan kapal dan pada batas *outlet* di-setting “*Static Pressure*” (tekanan outlet dianggap statis). Batas *wall* di-setting “*Free Slip*” yang berarti dianggap tidak ada gesekan (fluida bebas bergerak). Pada batas *wall*, lokasi yang didefinisikan adalah *ground*, *top*, dan *wall*. Kemudian pada model kapal (*submarine*) di-setting dengan “*No Slip*”. Dapat dilihat pada Gambar IV. 9 adalah salah satu contoh pendefinisian *boundary* dan pada Gambar IV. 10 merupakan hasil dari pendefinisian *boundary*.



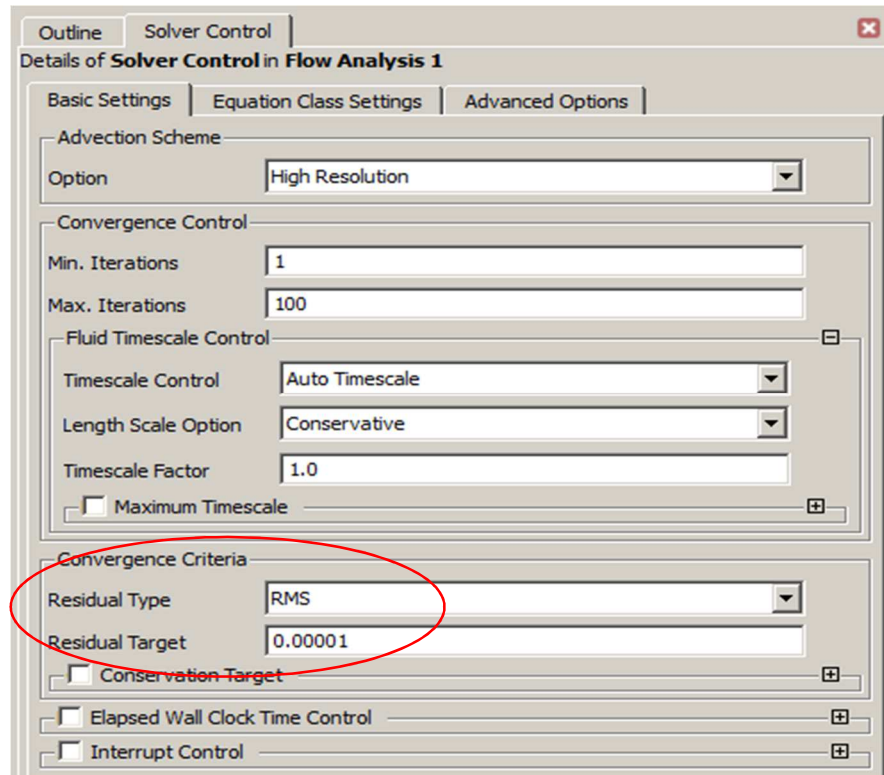
Gambar IV. 9. Salah satu pendefinisian *boundary*



Gambar IV. 10. Hasil pendefinisian *boundary*

Setelah selesai dilakukan pendefinisian, kemudian dilakukan pengaturan pada *solver control*. Pengaturan dilakukan dengan memberikan batasan

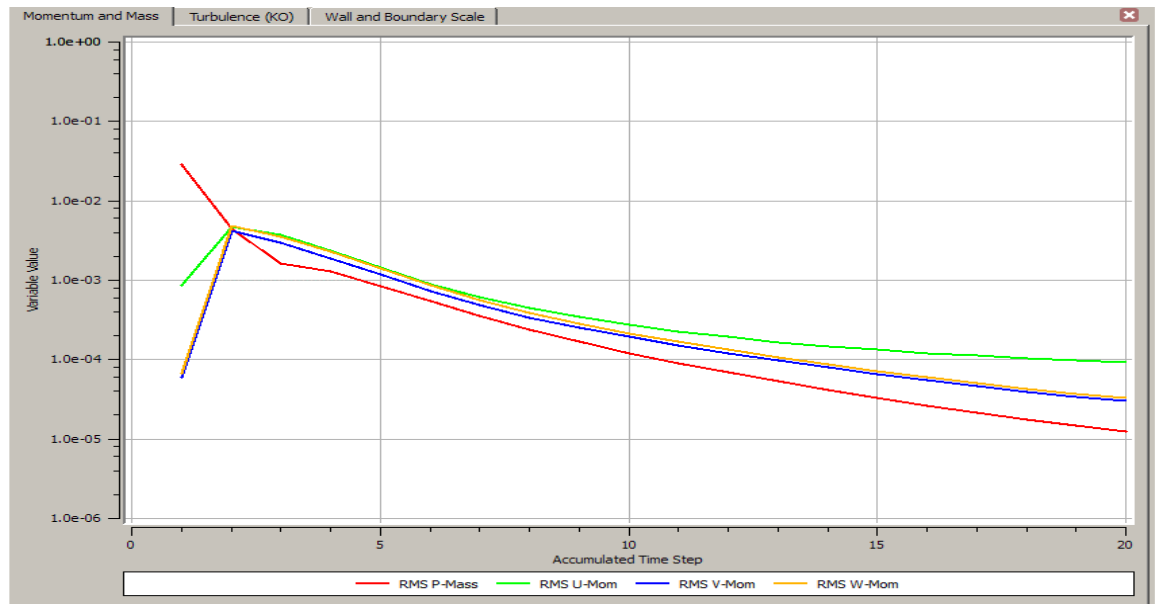
konvergensi (*convergence*) 10^{-5} sebagai batasan atau validasi pada simulasi *full viscous* yang dapat dilihat pada Gambar IV. 11.



Gambar IV. 11. Pengaturan pada *solver control*

IV.2.4. Proses *Solver* pada CFD-Software

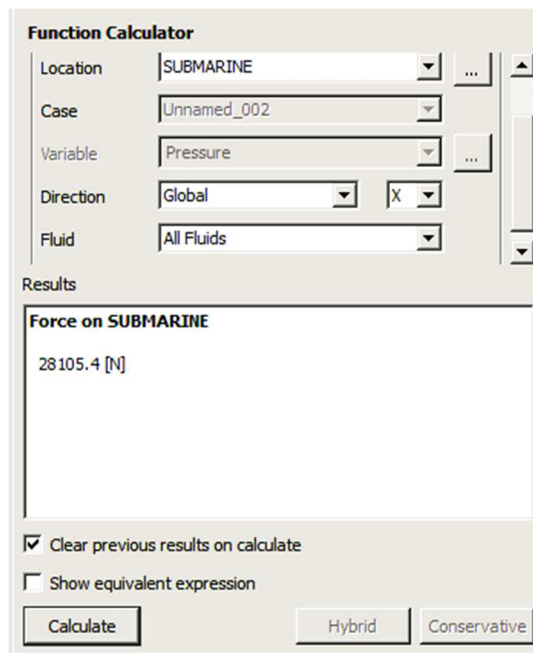
Pada tahap selanjutnya setelah selesai dilakukan pendefinisian terhadap model, yaitu dilakukan proses *solver* dengan melakukan *running* program. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan *acumulated time step* sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan *variable value* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai 10^{-6} yang ditentukan pada saat tahap pre-processor dan berdasarkan penelitian sebelumnya pada simulasi ini ditentukan batas *variable value* adalah 10^{-5} . Pada Gambar IV. 12 memperlihatkan proses *running* yang sedang berjalan pada tahap *solver*.



Gambar IV. 12. Proses *running* pada tahap *solver*

IV.2.5. Tahap *Post Processor* pada CFD-Software

Tahap berikutnya setelah selesai proses *running* pada tahap *solver* adalah tahap *post processor*. Pada tahap ini nilai gaya yang ingin diketahui dapat diketahui dengan cara membuka hasil *running* yang telah selesai menggunakan CFD-Post. Kemudian pilih tab “Calculators” diikuti dengan “Function Calculator”. Pada fitur “Function Calculator” hambatan yang terjadi pada model dapat diketahui baik hambatan pada arah X, Y, maupun Z. Seperti pada Gambar IV. 13, merupakan salah satu contoh hasil nilai yang didapatkan dari proses simulasi menggunakan CFD-Software.



Gambar IV. 13. Fitur *function calculator*

IV.2.6. Validasi Data

Validasi data digunakan untuk memastikan bahwa metode dan hasil dari simulasi CFD sudah benar, maka diperlukan proses validasi. Pada Tugas Akhir ini terdapat 2 validasi yang digunakan, yaitu perhitungan *longitudinal force* dan *convergence*.

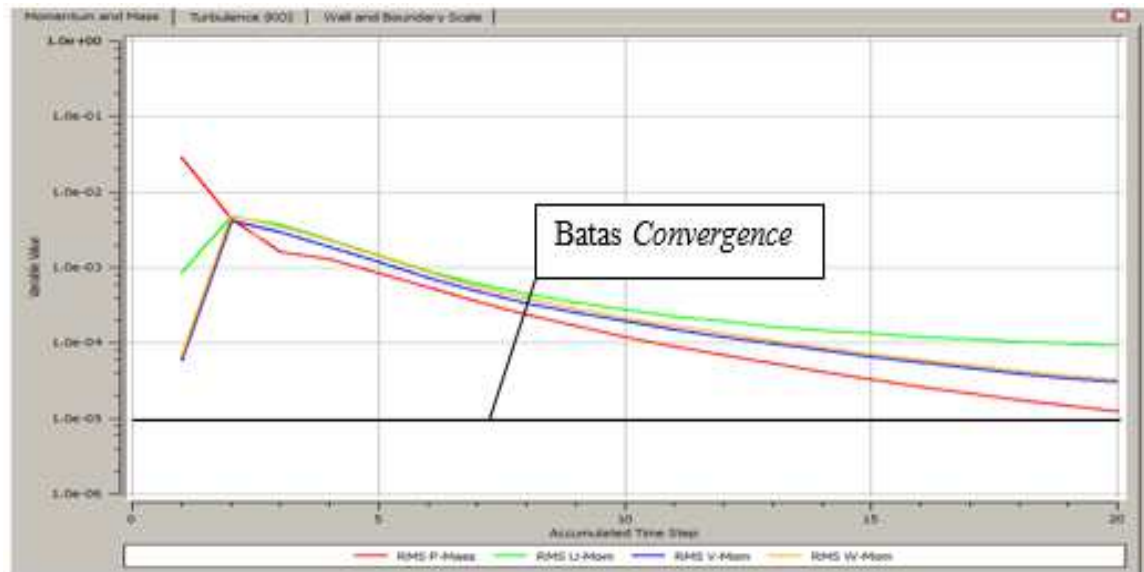
IV.2.6.1. Perhitungan *Longitudinal Force (Resistance)*

Untuk pengecekan keakuratan hasil perhitungan *hydrodynamic force* pada *software*, maka dilakukan validasi dengan membandingkan nilai hasil perhitungan *longitudinal force* dengan nilai hasil simulasi menggunakan CFD-*Software*. Koreksi selisih antara hasil perhitungan *longitudinal force* dengan hasil perhitungan pada *software* tidak boleh lebih dari 5%.

IV.2.6.2. *Convergence*

Merupakan pengaturan persamaan *solver control* untuk meminimalisir error pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses

iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas *convergence* yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai error terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan CFD-Software adalah 10^{-5} untuk simulasi *full viscous*. Yang artinya proses perhitungan atau running akan terus beriterasi sampai grafik pada *mass* mencapai hasil dengan *convergence criteria* yang telah ditentukan. Dapat dilihat pada Gambar IV. 14 yang merupakan pemberian batas *convergence* pada proses simulasi.



Gambar IV. 14. Batas *Convergence* pada grafik simulasi *full viscous*

IV.2.7. Perhitungan *Hydrodynamic Force* dengan CFD-Software untuk *Submarine*

Pada tugas akhir ini variasi model *submarine* dibuat menjadi 4 variasi berdasarkan rasio dari panjang fin dengan panjang *chord* pada fin dan dilakukan perhitungan pada sudut kemudi 10° dan 35° yang dapat dilihat pada Tabel IV. 1 berikut.

Tabel IV. 1. Tabel variasi fin untuk submarine 28 m

No.	Variasi	Panjang Fin Depan (m)	Panjang Fin Belakang (m)
1	Variasi no. 1	0,818	1,6
2	Variasi no. 2	1,018	1,8
3	Ukuran Asli	1,218	2,0
4	Variasi no. 3	1,418	2,2
5	Variasi no. 4	1,618	2,4

Setelah mendapatkan nilai *hydrodynamic force* pada tiap variasi, kemudian dilakukan perhitungan *hydrodynamic derivatives* pada tiap variasi. Untuk mendapatkan nilai atau harga dari koefisien *hydrodynamic derivatives* digunakanlah *software* Matlab untuk menuliskan program guna mendapatkan nilai koefisien hidrodinamik. Contoh penulisan program pada Matlab dapat dilihat pada Gambar IV. 15 dan pada Gambar IV. 16.

```

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu = 27.703;
Yv = -15.067;
Ys = -944.742;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv1 = Yv/(0.5*p*(L^2))
Yr1 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv1)
Ys1 = Ys/(0.5*p*(L^2))
Nr1 = (1/4)*(Yv1)
Nv1 = -(Xudot1-Yvdot1) + ((Xp/L)*Yv1)
Ns1 = -0.5*Ys1

```

Gambar IV. 15. Perhitungan *hydrodynamic derivatives* untuk *rudder angle* 35°


```

s10 = (pi*10)/180;
x   = 14.91;
L   = 28;
p   = 1025;
u   = 7.716;
m   = 32331.972;
Xg  = 14.91;
Yv  = -15.067;
Ys10 = -80.567;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv1 = Yv/(0.5*p*(L^2))
Yr1 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv1)
Ys110 = Ys10/(0.5*p*(L^2))
Nr1 = (1/4)*(Yv1)
Nv1 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv1)
Ns110 = -0.5*Ys110

```

Gambar IV. 16. Perhitungan *hydrodynamic derivatives* untuk *rudder angle* 10°

Setelah dildapatkan nilai atau harga dari *hydrodynamic derivatives* pada tiap variasi, selanjutnya dilakukan perhitungan *turning circle test* dan *zig-zag maneuver test*. Nilai atau harga dari koefisien *hydrodynamic derivatives* disubtitusikan ke dalam persamaan *turning* radius dan persamaan untuk mendapatkan grafik osilasi pada *yaw*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

ANALISIS *MANEUVERING*

PADA *SUBMARINE 28 M*

Pada Bab IV, telah dilakukan proses pembuatan model dan simulasi model dengan *CFD-Software*. Selanjutnya, pada Bab V ini akan dilakukan proses penganalisaan terhadap hasil simulasi *Submarine 28 M*. Proses penganalisaan terdiri dari analisis perhitungan numerik *longitudinal force X* dengan hasil perhitungan simulasi pada *software*, analisis hasil perhitungan *turning circle* dan *zig-zag maneuver*, dan analisis perhitungan dengan beberapa variasi fin pada kapal serta perhitungan batasan kriteria untuk *maneuvering* pada *Submarine 28 M*.

V.1. Perhitungan *Longitudinal Force X (resistance)*

Untuk menentukan akurasi dari perhitungan yang dihasilkan oleh program computer, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap hasil program dengan membandingkannya dengan perhitungan secara manual. Dalam *maneuver* pada kapal, gaya hidrodinamik yang paling utama adalah *longitudinal force (resistance) X*, *transverse force Y*, *yaw moment N*. Untuk itu sebagai acuan pengerjaan, perlunya dilakukan perhitungan salah satu gaya hidrodinamik, yaitu *longitudinal force* atau gaya hambatan (*resistance*).

Perhitungan hambatan yang dilakukan adalah perhitungan hambatan pada kondisi *submerged* menggunakan rumus empiris. Rumus perhitungan hambatan tersebut dijelaskan pada buku *Submersible Vehicle System Design*. Dan berikut adalah perhitungan dari hambatan kapal selam saat kondisi *submerged* (detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran).

$$R_T = R_{BH} + R_{APP}$$

✚ RBH = *bare hull resistance*

$$R_{BH} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

ρ = *mass density of the operating fluid*

$$= 1025 \text{ kg/m}^3$$

A = *reference area of the submerible (wetted area)*

$$= 290.863 \text{ m}^2$$

V = *Velocity of the submersibles, m/s*

$$= 15 \text{ knot}$$

$$= 7.716 \text{ m/s}$$

C_t = *non dimensional drag coefficient*

$$= C_f + \Delta C_f + C_r + C_w$$

$$= 2.88\text{E-}03$$

Sehingga, didapatkan nilai hambatan kapal kosong adalah : 25.603 kN

✚ *Resistance of appendages*

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A = *Appendages wetted area* dari data maxsurf

$$V = 7.7716 \text{ m/s}$$

C_t = *drag coefficient for the appendages*

$$= 0.00193 \text{ (based on wetted surface)}$$

Selanjutnya, perhitungan hambatan *appendages* akan ditabulasikan berdasarkan masing-masing *appendages* yang ada pada kapal selam. Pada Tabel V. 1 dapat dilihat hambatan dari masing-masing *appendages* pada kapal selam.

Tabel V. 1. Hambatan *appendages* saat *submerged*

No	Part	A (m ²)	Ct	R (N)
1	Rudder - Top	3.942	0.0019	232.14
2	Rudder - Bottom	3.451	0.0019	203.23
3	Aft Planes - Top	3.941	0.0019	232.08
4	Aft Planes - Bottom	3.931	0.0019	231.49
5	Conning Tower	12.546	0.0019	738.82
6	Fwd Planes - Upper	2.261	0.0019	133.15
7	Fwd Planes - Lower	2.266	0.0019	133.44
8	Rudder - Top end	0.087	0.0019	5.1234
9	Rudder - Bottom end	0.087	0.0019	5.1234
10	Aft Planes - End	0.169	0.0019	9.9523
11	Conning Tower Top	2.587	0.0019	152.35
12	Fwd Planes - End	0.121	0.0019	7.1256
Total		35.389		2084

Sehingga didapatkan nilai hambatan *appendages* totalnya adalah 2.084 kN.

Maka, Hambatan total dari kapal selam saat kondisi *submerged* adalah 27.687 kN.

Perhitungan *longitudinal force* tersebut dilakukan terhadap variasi pada ukuran panjang fin. Sehingga, dapat dibuat Tabel V. 2 nilai *longitudinal force* sebagai berikut:

Tabel V. 2. Hambatan pada tiap variasi

No	Variasi	Panjang Fin Depan (m)	Panjang Fin Belakang (m)	Nilai Hambatan (kN)
1	Variasi no. 1	0,818	1,6	27.506
2	Variasi no. 2	1,018	1,8	27.596
3	Ukuran Asli	1,218	2,0	27.687
4	Variasi no. 3	1,418	2,2	27.777
5	Variasi no. 4	1,618	2,4	27.867

V.2. Perhitungan Menggunakan Simulasi CFD

V.2.1. Hydrodynamic Force

Setelah dilakukan perhitungan secara manual pada *longitudinal force* X sebagai acuan, maka dilakukan perhitungan *hydrodynamic force* menggunakan CFD-Software.

Dengan menggunakan *software* akan diketahui nilai *transverse force* Y yang dapat

membantu untuk menyelesaikan perhitungan numerik pada *turning circle* dan *zig-zag maneuver*. Simulasi menggunakan CFD-Software dilakukan sesuai dengan yang telah dijelaskan pada Bab IV sebelumnya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel V. 3 dan pada

Tabel V. 4.

Tabel V. 3. *Hydrodynamic force* untuk *rudder angle* 35⁰

No	Variasi	Panjang Fin Depan (m)	Panjang Fin Belakang (m)	X _u	Y _v	X _δ	Y _δ
1	Variasi no. 1	0,818	1,6	27.589	-16.056	344.024	-823.77
2	Variasi no. 2	1,018	1,8	27.688	-15.343	352.526	-804.82
3	Ukuran Asli	1,218	2,0	27.703	-15.067	362.387	-944.74
4	Variasi no. 3	1,418	2,2	29.594	-17.749	456.948	-810.42
5	Variasi no. 4	1,618	2,4	30.394	-17.987	580.073	-1097.9

Tabel V. 4. *Hydrodynamic force* untuk *rudder angle* 10⁰

No	Variasi	Panjang Fin Depan (m)	Panjang Fin Belakang (m)	X _δ	Y _δ
1	Variasi no. 1	0,818	1,6	48.974	-82.087
2	Variasi no. 2	1,018	1,8	49.634	-81.675
3	Ukuran Asli	1,218	2,0	49.962	-80.567
4	Variasi no. 3	1,418	2,2	52.192	-79.690
5	Variasi no. 4	1,618	2,4	55.678	-77.58

V.2.2. *Hydrodynamic Derivatives*

Setelah mendapatkan nilai *hydrodynamic force*, maka dapat dilakukan perhitungan untuk *hydrodynamic derivatives* pada *submarine* untuk mendapatkan nilai *turning circle* dan *zig-zag maneuver*. Berikut adalah perhitungan *hydrodynamic derivatives* pada kapal selam (detail perhitungan dapat dilihat pada lampiran).

Berdasarkan “DTNSRDC Revised Standard Submarine Equations Of Motion” *hydrodynamic derivatives* untuk *submarine* adalah sebagai berikut:

$$m' = \frac{m}{1/2 \rho L^3}$$

✚ m' = mass of submarine, including water in free-flooding spaces
 m = 32331.972

Sehingga, didapatkan nilai m' adalah 0.002874

$$Y'_v = \frac{Y_v}{1/2 \rho L^2}$$

✚ Y'_v = coefficient used in representing Y as a function of uv
 Y_v = hydrodynamic force component along y axis
 Y_v = -15.067 kN (didapatkan dari simulasi software)
 ρ = mass density of the operating fluid
= 1.025 kg/m³
 L = panjang lapal
= 28 m

Sehingga didapatkan nilai Y'_v adalah -0.0000375

$$Y'_r = \frac{Y_r}{1/2 \rho L^3} = X_{\dot{u}}' + \frac{X_p}{L} Y'_v$$

✚ Y'_r = coefficient used in representing Y as a function of ur
 Y_r = hydrodynamic force component sway and yaw
 $X_{\dot{u}}$ = added mass in surge
= -(0.05 m to 0.1 m)
= -3233.2 kg
 $X_{\dot{u}}'$ = -0.2874
 X_p = $X_G + 0.1L$
= 17.71 m

Sehingga didapatkan nilai Y'_r adalah -3.1110e-04

$$N'_v = \frac{N_v}{1/2 \rho L^3} = -(X_{\dot{u}}' - Y'_v) + \frac{X_p}{L} Y'_v$$

✚ N'_v = coefficient used in representing N as a function of uv
 N_v = hydrodynamic moment component about z axis (yaw moment)
 $Y_{\dot{v}}$ = added mass in sway
= -(0.7 m to 1 m)
= -32331.9 kg
 Y'_v = -2.8739

Sehingga didapatkan nilai N'_v adalah -0.0026

$$N'_r = \frac{N_r}{\frac{1}{2} \rho L^4} = \frac{1}{4} Y'_v$$

✚ N'_r = coefficient used in representing N as a function of u^2

Sehingga didapatkan nilai N'_r adalah -9.3747e-06

$$Y'_\delta = \frac{Y_\delta}{\frac{1}{2} \rho L^2}$$

✚ Y'_δ = coefficient used in representing Y as a function of $u^2 \delta_r$

Y_δ = hydrodynamic force component about sway with rudder angle

= -944.742 kN (rudder angle 35° ; didapatkan dari simulasi software)

Sehingga didapatkan nilai Y'_δ adalah -0.0024

$$N'_\delta = \frac{N_\delta}{\frac{1}{2} \rho L^3} = \frac{1}{2} Y'_\delta$$

✚ N'_δ = hydrodynamic moment component about z axis with rudder angle

Sehingga didapatkan nilai N'_δ adalah 0.0012

Perhitungan di atas dilakukan juga untuk variasi perpanjangan ukuran fin. Dapat dilihat pada Tabel V. 5 merupakan rekap hasil perhitungan *hydrodynamic derivatives* untuk *rudder angle* 35° dan pada Tabel V. 6 rekap hasil perhitungan *hydrodynamic derivatives* untuk *angle* 10° .

Tabel V. 5. *Hydrodynamic derivatives* untuk *rudder angle* 35°

No	Derivatives	Variasi no. 1	Variasi no. 2	Fin Asli	Variasi no. 3	Variasi no. 4
1	m'	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
2	Y'_v	-3.996e-05	-3.8186e-05	-3.7499e-05	-4.4171e-05	-4.9151e-05
3	Y'_r	-3.1266e-05	-3.115e-04	-3.1110e-04	-3.1532e-04	-3.1847e-04
4	N'_v	-0.0026	-0.0026	-0.0026	-0.0026	-0.0026
5	N'_r	-9.990e-06	-9.5464e-06	-9.3747e-06	-1.1043e-05	-1.2288e-05
6	Y'_δ	-0.0021	-0.0020	-0.0024	-0.0020	-0.0027
7	N'_δ	0.001	0.001	0.0012	0.0010	0.0014

Tabel V. 6. *Hydrodynamic derivatives* untuk *rudder angle* 10°

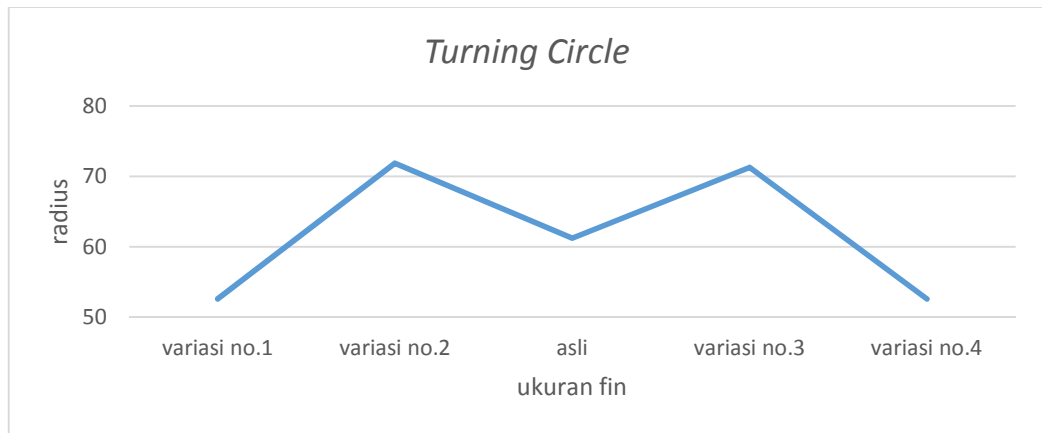
No	<i>Derivatives</i>	Variasi no.1	Variasi no.2	Fin Asli	Variasi no.3	Variasi no.4
1	m'	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029
2	Y'_v	-3.996e-05	-3.8186e-05	-3.7499e-05	-4.4171e-05	-4.9151e-05
3	Y'_r	-3.126e-04	-3.1154e-04	-3.1110e-04	-3.1532e-04	-3.1847e-04
4	N'_v	-0.0026	-0.0026	-0.0026	-0.0026	-0.0026
5	N'_r	-9.99e-06	-9.5464e-06	-9.3747e-06	-1.1043e-05	-1.2288e-05
6	Y'_δ	-2.043e-04	-2.0327e-04	-2.0052e-04	-1.9833e-04	-1.9308e-04
7	N'_δ	1.0215e-04	1.0164e-04	1.0026e-04	9.9166e-05	9.6541e-05

V.3. Analisis *Turning Circle*

Analisis *turning circle* ini dilakukan dengan melakukan perhitungan *turning radius*. Perhitungan *turning radius* dilakukan untuk dapat mengetahui besarnya diameter belok dari kapal. Dengan mengetahui besarnya nilai diameter belok tersebut, dapat dilakukan perhitungan batasan kriteria yang dianjurkan untuk *turning circle test*. Perhitungan dilakukan sesuai dengan persamaan yang dijelaskan pada Bab. II. Perhitungan dapat dilakukan apabila koefisien *hydrodynamic derivatives* diketahui. Dari hasil koefisien *hydrodynamic derivatives* yang telah diketahui, kemudian disubstitusi ke persamaan berikut:

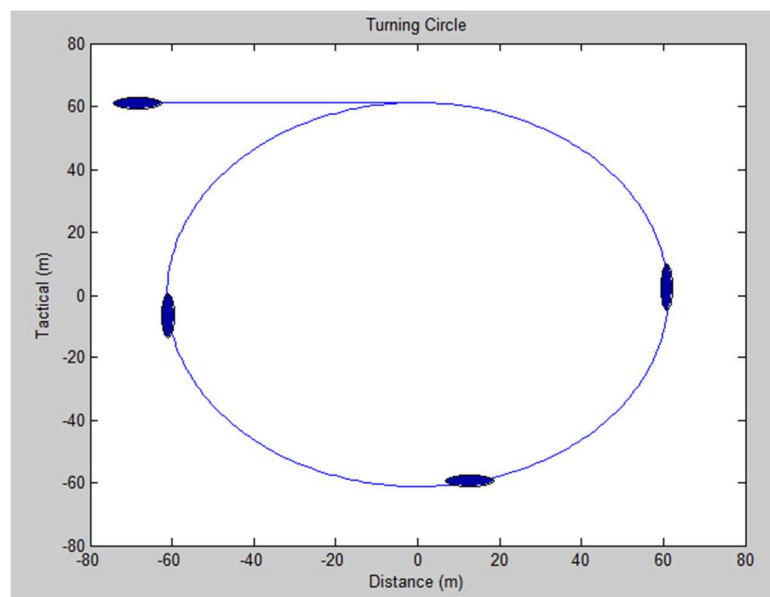
$$R = \frac{Y'_v(N'_r - m'^{x_{G'}}) - N'_v(Y'_r - m')}{(Y'_v N'_\delta - N'_v Y'_\delta)} \frac{1}{\delta} L$$

Setelah dilakukan perhitungan pada persamaan *steady turning radius*, didapatkan nilai *turning radius* dengan *rudder angle* 35° untuk ukuran fin asli adalah sebesar 61.2177 m. Sedangkan untuk nilai *turning radius* untuk ukuran fin variasi no.1 adalah sebesar 52.6094 m, pada ukuran fin variasi no.2 adalah sebesar 71.852m. Sedangkan pada ukuran fin variasi no.3 adalah sebesar 71.2812 m. Serta untuk nilai *turning radius* untuk ukuran fin variasi no.4 adalah sebesar 52.6094 m.

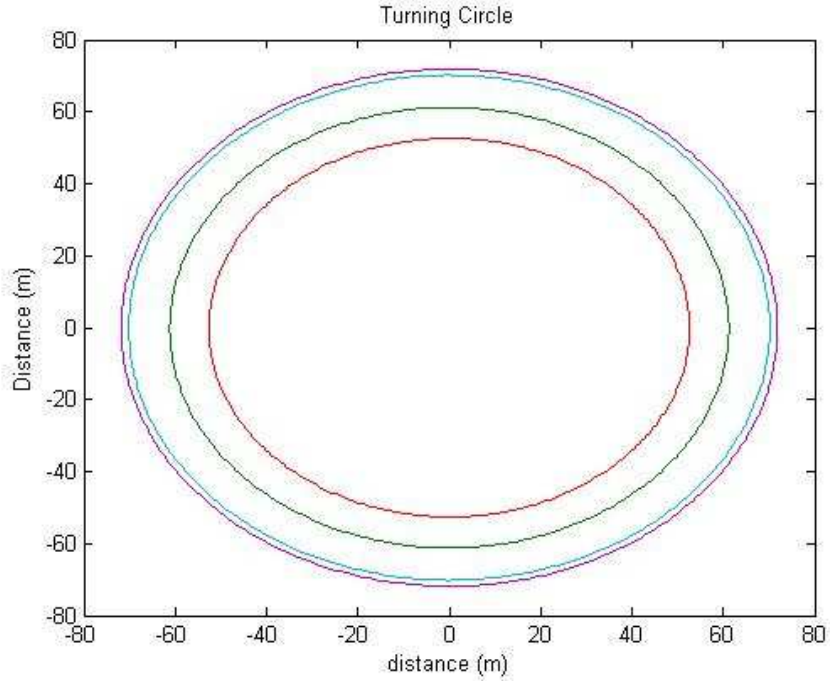


Gambar V. 1. Nilai *turning* radius

Dari grafik pada Gambar V. 1 menunjukkan hasil *turning* radius pada ukuran fin variasi no.1 dan variasi no.4 memiliki harga radius yang terkecil. Sedangkan pada ukuran fin variasi no.2 memiliki harga radius yang terbesar. Harga dari *turning* radius tersebut didapatkan dari perhitungan menggunakan *software* yang telah dibuat menggunakan *software* Matlab.



Gambar IV. 17. Kurva hasil plot *turning circle* pada Matlab dengan ukuran fin asli



Gambar V. 2. Hasil *turning* radius pada tiap variasi ukuran fin

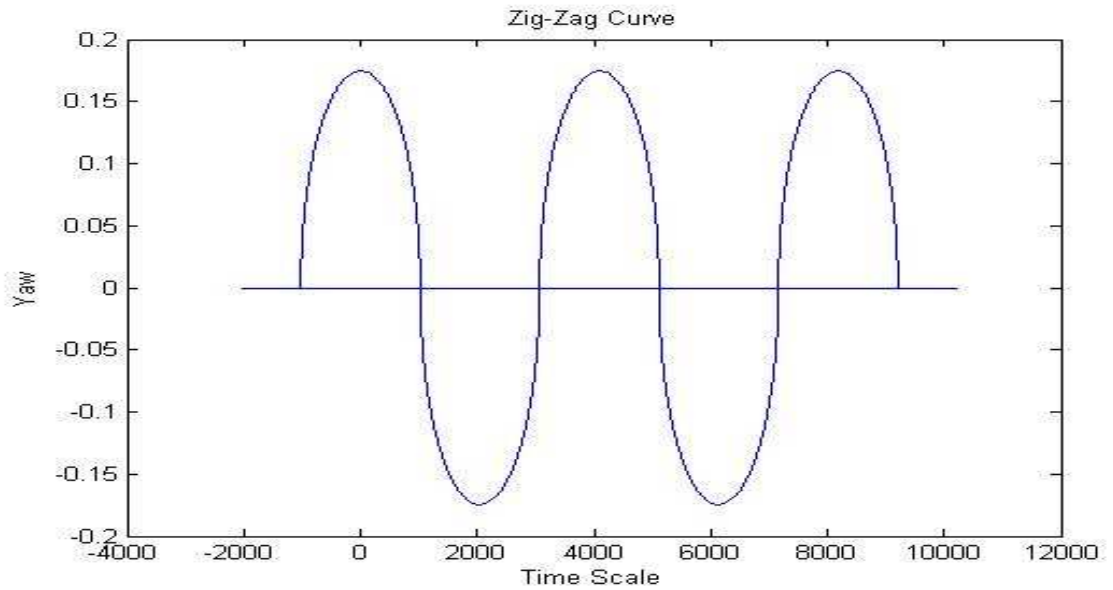
V.4. Analisa Zig-Zag Maneuver

Analisis *zig-zag maneuver* ini dilakukan dengan melakukan perhitungan osilasi pada *yaw*. Perhitungan *yaw* osilasi dilakukan untuk mendapatkan grafik osilasi pada *yaw* yang kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai sudut *overshoot*. Dengan mengetahui nilai sudut *overshoot* tersebut, dapat dilakukan perhitungan batasan kriteria yang dianjurkan untuk *zig-zag maneuver test*. Perhitungan dilakukan sesuai dengan persamaan yang dijelaskan pada Bab. II.

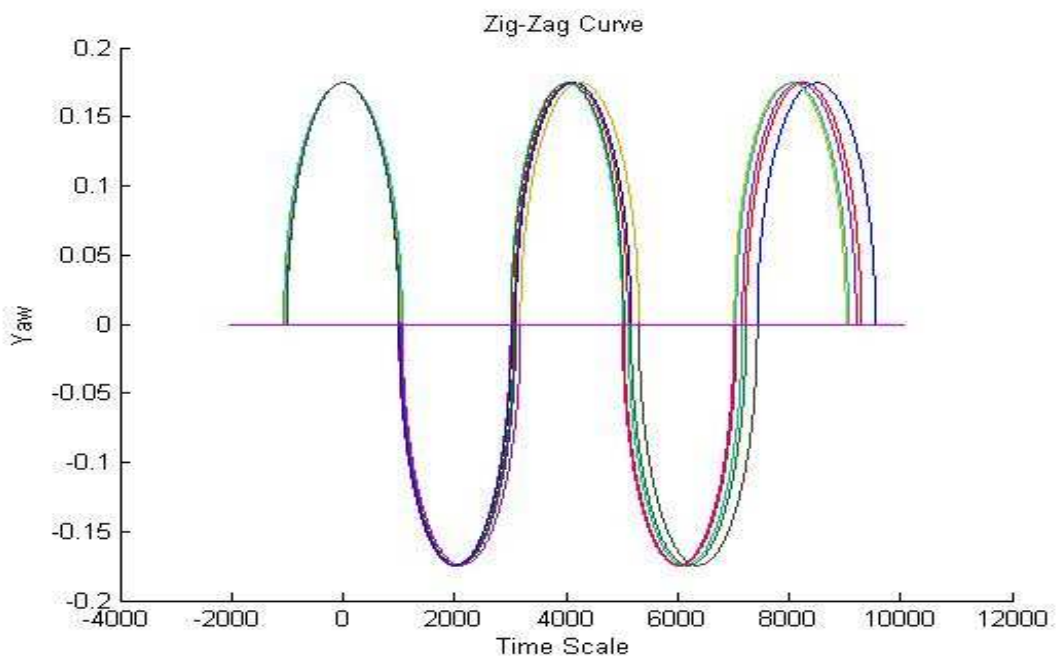
Untuk mendapatkan grafik osilasi pada *yaw*, diperlukan untuk mengetahui nilai radius terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai ω . Setelah mendapatkan nilai ω , barulah dapat dilakukan perhitungan terhadap persamaan berikut:

$$\psi = -\psi_o(\cos \omega t - \varepsilon/2)$$

Perhitungan sepenuhnya dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab. *Output* dari perhitungan tersebut adalah grafik osilasi pada *yaw*. Pada Gambar V. 3 merupakan salah satu *output* dari perhitungan *yaw* osilasi.

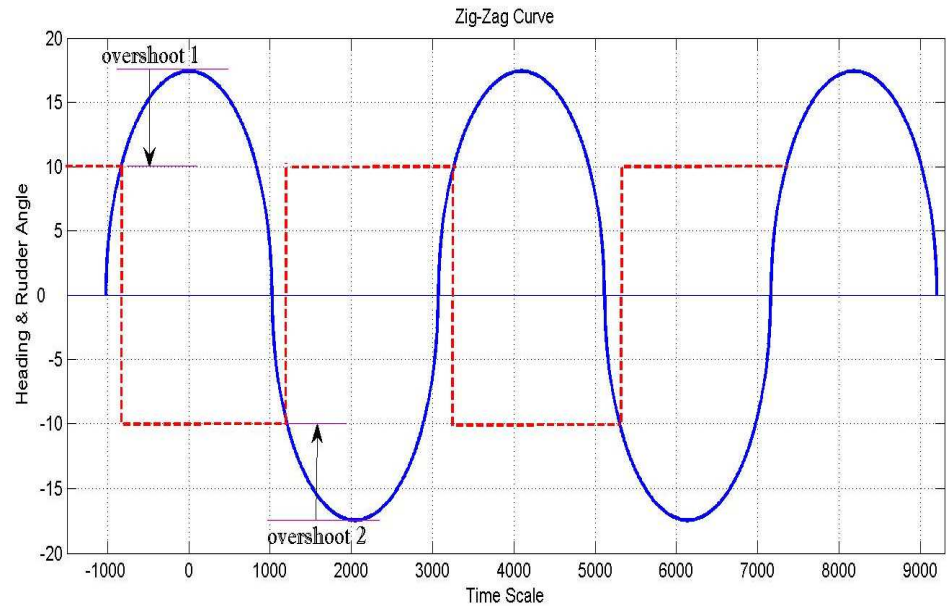


Gambar V. 3. Yaw dengan *rudder angle* 10^0 pada ukuran fin asli



Gambar V. 4. Yaw dengan *rudder angle* konstan pada beberapa variasi

Setelah mendapatkan hasil grafik osilasi pada *yaw*, grafik tersebut kemudian diplotkan pada ordinat *rudder angle* dan absis *time scale* dengan skala yang sama. Setelah grafik diplotkan, maka diambil garis perpotongan antara ordinat *rudder angle* dengan grafik osilasi pada *yaw*. Setelah didapatkan perpotongan, maka dihitung jarak *overshoot* 1 dan 2, seperti yang dapat dilihat pada Gambar V. 5 berikut.



Gambar V. 5. Hasil pengeplotan grafik untuk mendapatkan sudut *overshoot*

V. 5. Batasan Kriteria *Maneuvering*

Sesuai dengan batasan kriteria pada IMO Resolution MSC 137 (76), 2002, *submarine* 28 m berdasarkan analisis *turning circle* dengan membandingkan harga *tactical diameter*. Untuk hasil perhitungan lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel V. 7 di bawah ini.

Tabel V. 7. Hasil batasan kriteria pada *turning circle*

No	Variasi	Panjang Fin Depan (m)	Panjang Fin Belakang (m)	Tactical Diameter Matlab (m)	Tactical Diameter Kriteria $5 \cdot L$ (m)	Keterangan
1	Variasi no.1	0,818	1,6	105.22	140	Memenuhi
2	Variasi no.2	1,018	1,8	143.704	140	Tidak memenuhi
3	Ukuran Asli	1,218	2,0	122.434	140	Memenuhi
4	Variasi no.3	1,418	2,2	142.5624	140	Tidak memenuhi
5	Variasi no.4	1,618	2,4	105.22	140	Memenuhi

Sehingga, dari hasil analisis tersebut model *submarine* 28 m dengan ukuran fin variasi no.1 dan no.4 merupakan model *submarine* yang paling optimum karena memiliki harga *turning radius* yang terkecil.

Selanjutnya adalah batasan kriteria berdasarkan analisis *zig-zag maneuver*. Pada *zig-zag maneuver* dilakukan perhitungan batasan kriteria pada sudut *overshoot* 1 dan

sudut *overshoot* 2. Berdasarkan batasan kriteria didapatkan hasil perhitungan seperti pada Tabel V. 8.


Tabel V. 9. Hasil batasan kriteria *zig-zag maneuver* $10^0/10^0$

No	Variasi	Panjang Fin Depan (m)	Panjang Fin Belakang (m)	Sudut Overshoot 1&2	Kriteria IMO	Keterangan
1	Variasi no.1	0,818	1,6	17.29°	3.628823224	Memenuhi
2	Variasi no.2	1,018	1,8	17.33°	3.628823224	Memenuhi
3	Ukuran Asli	1,218	2,0	17.26°	3.628823224	Memenuhi
4	Variasi no.3	1,418	2,2	17.324°	3.628823224	Memenuhi
5	Variasi no.4	1,618	2,4	17.324°	3.628823224	Memenuhi

Dari hasil tabel tersebut semua model memenuhi kriteria batasan dari *zig-zag maneuver* $10^0/10^0$. Model *submarine* 28 m dengan ukuran fin asli memiliki sudut *overshoot* terkecil. Sehingga model awal *submarine* 28 m merupakan model yang optimum pada kriteria *zig-zag maneuver*. Perbedaan pada sudut *overshoot* yang dihasilkan pada tiap model tidaklah terlalu signifikan.

Dengan meninjau hasil batasan kriteria *maneuvering* pada *submarine* 28 m, model *submarine* 28 m dengan ukuran fin variasi no.1 adalah model yang paling optimum untuk kemampuan *maneuvering* dengan harga *turning radius* 52.6094 m dan sudut *overshoot* 17.29°.

LAMPIRAN I
HASIL PERHITUNGAN *LONGITUDINAL FORCE X*
(*RESISTANCE*)

 Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Irma Mahardhika Putri
	NRP :	4121100078
	DESAIN <i>SUBMARINE</i> 28 M BERBASIS ANALISIS <i>MANEUVERING</i>	
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		
<i>Longitudinal Force (Resistance)</i>		

VI.1 Hambatan Kondisi Submerged untuk Ukuran Fin - 0.2 m

Rt = R bh + R app

(Submersible Vehicle System Design, hal-252)

Rt = total Resistance
R bh = bare hull resistance
R app = resistance of appendages

VI.1.1. Bare Hull Resistance

R bh = 1/2 ρ AV^2Ct

ρ= mass density of the operating fluid
A= reference area of the submerible (wetted area)
V= Velocity of the submersibles, ft/s
Ct= non dimensional drag coefficient
Ct= Cf + ΔCf + Cr + Cw

Cf = frictional resistance coefficient
ΔCf = correlation allowance (0.0004 - 0.0009)
Cr = residual resistance coefficient
Cw = Wave making resistance coefficient

Perhitungan Cf

ρ = 1025 kg/m3
A = 290.86 m2
Cf = 0.0075 / (log10 Re - 2)^2

Re = V * L/ ν
V = speed
= 15 knot
= 7.716 m/s

L = Characteristic lenght
= Lpp
= 28 m

ν = Kinematic viscousity (salt water)
= 0.01063 cm²/s
= 1.0630E-06 m²/s

$$Re = 2.032E+08$$

$$C_f = 0.075 / (\log_{10} Re - 2)^2$$

$$C_f = 0.00188484$$

$$\Delta C_f = 0.0004 \sim 0.0009$$

$$= 0.0009 \text{ (diambil)}$$

$$C_r = 0.0001 \text{ (bentuk tipe Albacore)}$$

Hullform	Cr x 10 ⁻³
Deep Quest	0.677
DSRV	0.435
Fleet Sub	0.39
Albacore	0.1

$$C_w = 0 \text{ (fully submerged mode)}$$

$$C_t = 2.885E-03$$

maka,

$$R_{bh} = 25602.639 \text{ N}$$

$$25.603 \text{ kN}$$

VI.1.2. Resistance of Appendages

$$R_{app} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A = Appendages wetted area dari data maxsurf

$$B = 4 \text{ m}$$

$$V = 7.716 \text{ m/s}$$

C_t = drag coefficient for the appendages

(*Submersible Design System Design, hal 253*)

C_t (based on wetted surface)

$$C_t = C_f [1 + 1.5 (\text{diam}/\text{lenght})^{3/2} + 7 (\text{diam}/\text{lenght})^3]$$

$$C_t = 0.00192743$$

$$C_t = 0.00193$$

Luasan Appendages dan Hambatannya :

No	Part	A (m ²)	Ct	R (N)
1	Rudder - Top	3.942	0.00193	232.141
2	Rudder - Bottom	3.451	0.00193	203.227
3	Aft Planes - Top	3.536	0.00193	208.232
4	Aft Planes - Bottom	3.527	0.00193	207.702
5	Fin	12.546	0.00193	738.824
6	Fwd Planes - Upper	1.898	0.00193	111.772
7	Fwd Planes - Lower	1.903	0.00193	112.066
8	Rudder - Top end	0.087	0.00193	5.12336
9	Rudder - Bottom end	0.087	0.00193	5.12336
10	Aft Planes - End	0.169	0.00193	9.95227
11	Fin Top	2.587	0.00193	152.346
12	Fwd Planes - End	0.121	0.00193	7.12559
	total	8.7098		1993.63


$$R_{app} = 1993.635 \text{ N}$$

$$1.994 \text{ kN}$$

sehingga,

$$R_t = R_{bh} + R_{App}$$

$$= 27.596 \text{ kN}$$

 Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Irma Mahardhika Putri
	NRP :	4121100078
	DESAIN SUBMARINE 28 M BERBASIS ANALISIS MANEUVERING	
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		
Longitudinal Force (Resistance)		

VI.1 Hambatan Kondisi Submerged untuk Ukuran Fin - 0.4 m

$R_t = R_{bh} + R_{app}$

R_t = total Resistance

R_{bh} = bare hull resistance

R_{app} = resistance of appendages

(Submersible Vehicle System Design, hal-252)

VI.1.1. Bare Hull Resistance

$R_{bh} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$

ρ = mass density of the operating fluid

A = reference area of the submerible (wetted area)

V = Velocity of the submersibles, ft/s

C_t = non dimensional drag coefficient

$C_t = C_f + \Delta C_f + C_r + C_w$

C_f = frictional resistance coefficient

ΔC_f = correlation allowance (0.0004 - 0.0009)

C_r = residual resistance coefficient

C_w = Wave making resistance coefficient

Perhitungan C_f

$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$

$A = 290.86 \text{ m}^2$

$C_f = 0.0075 / (\log_{10} Re - 2)^2$

$Re = V * L / \nu$

V = speed

$= 15 \text{ knot}$

$= 7.716 \text{ m/s}$

L = Characteristic lenght

$= L_{pp}$

$= 28 \text{ m}$

ν = Kinematic viscousity (salt water)

$= 0.01063 \text{ cm}^2/\text{s}$

$= 1.0630\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$

$$Re = 2.032E+08$$

$$C_f = 0.075 / (\log_{10} Re - 2)^2$$

$$C_f = 0.00188484$$

$$\Delta C_f = 0.0004 \sim 0.0009$$

$$= 0.0009 \text{ (diambil)}$$

$$C_r = 0.0001 \text{ (bentuk tipe Albacore)}$$

Hullform	$C_r \times 10^{-3}$
Deep Quest	0.677
DSRV	0.435
Fleet Sub	0.39
Albacore	0.1

$$C_w = 0 \text{ (fully submerged mode)}$$

$$C_t = 2.885E-03$$

maka,

$$R_{bh} = 25602.639 \text{ N}$$

$$25.603 \text{ kN}$$

VI.1.2. Resistance of Appendages

$$R_{app} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A = Appendages wetted area dari data maxsurf

$$B = 4 \text{ m}$$

$$V = 7.716 \text{ m/s}$$

C_t = drag coefficient for the appendages

(Submersible Design System Design, hal 253)

C_t (based on wetted surface)

$$C_t = C_f [1 + 1.5 (\text{diam}/\text{lenght})^3/2 + 7 (\text{diam}/\text{lenght})^3]$$

$$C_t = 0.00192743$$

$$C_t = 0.00193$$

Luasan Appendages dan Hambatannya :

No	Part	A (m ²)	Ct	R (N)
1	Rudder - Top	3.942	0.00193	232.141
2	Rudder - Bottom	3.451	0.00193	203.227
3	Aft Planes - Top	3.144	0.00193	185.148
4	Aft Planes - Bottom	3.136	0.00193	184.677
5	Fin	12.546	0.00193	738.824
6	Fwd Planes - Upper	1.527	0.00193	89.9238
7	Fwd Planes - Lower	1.53	0.00193	90.1005
8	Rudder - Top end	0.087	0.00193	5.12336
9	Rudder - Bottom end	0.087	0.00193	5.12336
10	Aft Planes - End	0.169	0.00193	9.95227
11	Fin Top	2.587	0.00193	152.346
12	Fwd Planes - End	0.121	0.00193	7.12559
	total	8.7098		1903.71


$$R_{app} = 1903.711 \text{ N}$$

$$1.904 \text{ kN}$$

sehingga,

$$R_t = R_{bh} + R_{App}$$

$$= 27.506 \text{ kN}$$

 Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Irma Mahardhika Putri
	NRP :	4121100078
	DESAIN <i>SUBMARINE</i> 28 M BERBASIS ANALISIS <i>MANEUVERING</i>	
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		
<i>Longitudinal Force (Resistance)</i>		

VI.1 Hambatan Kondisi Submerged untuk Ukuran Fin Asli

Rt = R bh + R app

(Submersible Vehicle System Design, hal-252)

Rt = total Resistance
R bh = bare hull resistance
R app = resistance of appendages

VI.1.1. Bare Hull Resistance

R bh = 1/2 ρ AV^2 Ct

ρ= mass density of the operating fluid
A= reference area of the submerible (wetted area)
V= Velocity of the submersibles, ft/s
Ct= non dimensional drag coefficient
Ct = Cf + ΔCf + Cr + Cw

Cf = frictional resistance coefficient
ΔCf = correlation allowance (0.0004 - 0.0009)
Cr = residual resistance coefficient
Cw = Wave making resistance coefficient

Perhitungan Cf

ρ = 1025 kg/m3
A = 290.86 m2
Cf = 0.0075 / (log10 Re - 2)^2

Re = V * L / ν
V = speed
= 15 knot
= 7.716 m/s

L = Characteristic lenght
= Lpp
= 28 m

ν = Kinematic viscosity (salt water)
= 0.01063 cm²/s salinitas 3%
= 0.000001063 m²/s

Re = 2.032E+08

$$C_f = 0.075 / (\log_{10} Re - 2)^2$$

$$C_f = 0.00188484462$$

$$\Delta C_f = 0.0004 \sim 0.0009$$

$$= 0.0009 \text{ (diambil)}$$

$$C_r = 0.0001 \text{ (bentuk tipe Albacore)}$$

Hullform	$C_r \times 10^{-3}$
Deep Quest	0.677
DSRV	0.435
Fleet Sub	0.39
Albacore	0.1

$$C_w = 0 \text{ (fully submerged mode)}$$

$$C_t = 2.885E-03$$

maka,

$$R_{bh} = 25602.639 \text{ N}$$

$$25.603 \text{ kN}$$

VI.1.2. Resistance of Appendages

$$R_{app} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A = Appendages wetted area dari data maxsurf

$$B = 4 \text{ m}$$

$$V = 7.716 \text{ m/s}$$

C_t = drag coefficient for the appendages

(Submersible Design System Design, hal 253)

C_t (based on wetted surface)

$$C_t = C_f [1 + 1.5 (\text{diam}/\text{lenght})^3/2 + 7 (\text{diam}/\text{lenght})^3]$$

$$= 0.00192743$$

$$C_t = 0.00193$$


Luasan Appendages dan Hambatannya :

No	Part	A (m ²)	C_t	R (N)
1	Rudder - Top	3.942	0.0019	232.14
2	Rudder - Bottom	3.451	0.0019	203.23
3	Aft Planes - Top	3.941	0.0019	232.08
4	Aft Planes - Bottom	3.931	0.0019	231.49
5	Conning Tower	12.546	0.0019	738.82
6	Fwd Planes - Upper	2.261	0.0019	133.15
7	Fwd Planes - Lower	2.266	0.0019	133.44
8	Rudder - Top end	0.087	0.0019	5.1234
9	Rudder - Bottom end	0.087	0.0019	5.1234
10	Aft Planes - End	0.169	0.0019	9.9523
11	Conning Tower Top	2.587	0.0019	152.35
12	Fwd Planes - End	0.121	0.0019	7.1256
total		35.389		2084

$$\begin{aligned} R_{app} &= 2084.030 \text{ N} \\ &= 2.084 \text{ kN} \end{aligned}$$

sehingga,

$$\begin{aligned} R_t &= R_{bh} + R_{App} \\ &= 27.687 \text{ kN} \end{aligned}$$

 Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Irma Mahardhika Putri
	NRP :	4121100078
	DESAIN <i>SUBMARINE</i> 28 M BERBASIS ANALISIS <i>MANEUVERING</i>	
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		
<i>Longitudinal Force (Resistance)</i>		

VI.1 Hambatan Kondisi Submerged untuk Ukuran Fin + 0.2 m

Rt = R bh + R app

(Submersible Vehicle System Design, hal-252)

Rt = total Resistance
R bh = bare hull resistance
R app = resistance of appendages

VI.1.1. Bare Hull Resistance

R bh = 1/2 ρ AV^2 Ct

ρ= mass density of the operating fluid
A= reference area of the submerible (wetted area)
V= Velocity of the submersibles, ft/s
Ct= non dimensional drag coefficient
Ct = Cf + ΔCf + Cr + Cw

Cf = frictional resistance coefficient
ΔCf = correlation allowance (0.0004 - 0.0009)
Cr = residual resistance coefficient
Cw = Wave making resistance coefficient

Perhitungan Cf

ρ = 1025 kg/m3
A = 290.86 m2
Cf = 0.0075 / (log10 Re - 2)^2

Re = V * L / ν
V = speed
= 15 knot
= 7.716 m/s

L = Characteristic lenght
= Lpp
= 28 m

ν = Kinematic viscosity (salt water)
= 0.01063 cm²/s
= 1.0630E-06 m²/s

Re = 2.032E+08

$$C_f = 0.075 / (\log_{10} Re - 2)^2$$

$$C_f = 0.001884845$$

$$\Delta C_f = 0.0004 \sim 0.0009$$

$$= 0.0009 \text{ (diambil)}$$

$$C_r = 0.0001 \text{ (bentuk tipe Albacore)}$$

Hullform	$C_r \times 10^{-3}$
Deep Quest	0.677
DSRV	0.435
Fleet Sub	0.39
Albacore	0.1

$$C_w = 0 \text{ (fully submerged mode)}$$

$$C_t = 2.885E-03$$

maka,

$$R_{bh} = 25602.639 \text{ N}$$

$$25.603 \text{ kN}$$

VI.1.2. Resistance of Appendages

$$R_{app} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A = Appendages wetted area dari data maxsurf

$$B = 4 \text{ m}$$

$$V = 7.716 \text{ m/s}$$

C_t = drag coefficient for the appendages

(Submersible Design System Design, hal 253)

C_t (based on wetted surface)

$$C_t = C_f [1 + 1.5 (\text{diam}/\text{lenght})^3/2 + 7 (\text{diam}/\text{lenght})^3]$$

$$= 0.00192743$$

$$C_t = 0.00193$$


Luasan Appendages dan Hambatannya :

No	Part	A (m ²)	C_t	R (N)
1	Rudder - Top	3.942	0.00193	232.141
2	Rudder - Bottom	3.451	0.00193	203.227
3	Aft Planes - Top	4.334	0.00193	255.226
4	Aft Planes - Bottom	4.323	0.00193	254.578
5	Fin	12.546	0.00193	738.824
6	Fwd Planes - Upper	2.633	0.00193	155.055
7	Fwd Planes - Lower	2.639	0.00193	155.409
8	Rudder - Top end	0.087	0.00193	5.12336
9	Rudder - Bottom end	0.087	0.00193	5.12336
10	Aft Planes - End	0.169	0.00193	9.95227
11	Fin Top	2.587	0.00193	152.346
12	Fwd Planes - End	0.121	0.00193	7.12559
total		8.7098		2174.13

$$\begin{aligned} R_{app} &= 2174.130 \text{ N} \\ &= 2.174 \text{ kN} \end{aligned}$$

sehingga,

$$\begin{aligned} R_t &= R_{bh} + R_{app} \\ &= 27.777 \text{ kN} \end{aligned}$$

 Tugas Akhir MN 141581	Nama :	Irma Mahardhika Putri
	NRP :	4121100078
	DESAIN SUBMARINE 28 M BERBASIS ANALISIS MANEUVERING	
Institut Teknologi Sepuluh Nopember		
Longitudinal Force (Resistance)		

VI.1 Hambatan Kondisi Submerged untuk Ukuran Fin + 0.4 m

Rt = R bh + R app

(Submersible Vehicle System Design, hal-252)

Rt = total Resistance
R bh = bare hull resistance
R app = resistance of appendages

VI.1.1. Bare Hull Resistance

R bh = 1/2 ρ AV^2 Ct

ρ= mass density of the operating fluid
A= reference area of the submerible (wetted area)
V= Velocity of the submersibles, ft/s
Ct= non dimensional drag coefficient
Ct = Cf + ΔCf + Cr + Cw

Cf = frictional resistance coefficient
ΔCf = correlation allowance (0.0004 - 0.0009)
Cr = residual resistance coefficient
Cw = Wave making resistance coefficient

Perhitungan Cf

ρ = 1025 kg/m3
A = 290.86 m2
Cf = 0.0075 / (log10 Re - 2)^2

Re = V * L / ν
V = speed
= 15 knot
= 7.716 m/s

L = Characteristic lenght
= Lpp
= 28 m

ν = Kinematic viscosity (salt water)
= 0.01063 cm²/s
= 1.0630E-06 m²/s

Re = 2.032E+08

$$C_f = 0.075 / (\log_{10} Re - 2)^2$$

$$C_f = 0.00188484$$

$$\Delta C_f = 0.0004 \sim 0.0009$$

$$= 0.0009 \text{ (diambil)}$$

$$C_r = 0.0001 \text{ (bentuk tipe Albacore)}$$

Hullform	$C_r \times 10^{-3}$
Deep Quest	0.677
DSRV	0.435
Fleet Sub	0.39
Albacore	0.1

$$C_w = 0 \text{ (fully submerged mode)}$$

$$C_t = 2.885E-03$$

maka,

$$R_{bh} = 25602.639 \text{ N}$$

$$25.603 \text{ kN}$$

VI.1.2. Resistance of Appendages

$$R_{app} = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_t$$

A = Appendages wetted area dari data maxsurf

$$B = 4 \text{ m}$$

$$V = 7.716 \text{ m/s}$$

C_t = drag coefficient for the appendages

(Submersible Design System Design, hal 253)

C_t (based on wetted surface)

$$C_t = C_f [1 + 1.5 (\text{diam}/\text{lenght})^3/2 + 7 (\text{diam}/\text{lenght})^3]$$

$$C_t = 0.00192743$$

$$C_t = 0.00193$$

Luasan Appendages dan Hambatannya :

No	Part	A (m ²)	C_t	R (N)
1	Rudder - Top	3.942	0.00193	232.141
2	Rudder - Bottom	3.451	0.00193	203.227
3	Aft Planes - Top	4.727	0.00193	278.369
4	Aft Planes - Bottom	4.715	0.00193	277.663
5	Fin	12.546	0.00193	738.824
6	Fwd Planes - Upper	3.006	0.00193	177.021
7	Fwd Planes - Lower	3.013	0.00193	177.433
8	Rudder - Top end	0.087	0.00193	5.12336
9	Rudder - Bottom end	0.087	0.00193	5.12336
10	Aft Planes - End	0.169	0.00193	9.95227
11	Fin Top	2.587	0.00193	152.346
12	Fwd Planes - End	0.121	0.00193	7.12559
	total	8.7098		2264.35

$$R_{app} = \frac{2264.348 \text{ N}}{2.264 \text{ kN}}$$

sehingga,

$$\begin{aligned} R_t &= R_{bh} + R_{App} \\ &= 27.867 \text{ kN} \end{aligned}$$

LAMPIRAN II

**PENULISAN PROGRAM PADA MATLAB UNTUK
PERHITUNGAN *TURNING CIRCLE* DAN *ZIG-ZAG*
MANEUVER PADA TIAP VARIASI**

```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr1: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv1: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns1: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv1: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr1: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys1: turunan pertama koefisien Y fungsi s

%UKURAN FIN ASLI

% Turning Circle -- ukuran fin asli

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu = 27.703;
Yv = -15.067;
Ys = -944.742;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv1 = Yv/(0.5*p*(L^2))
Yr1 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv1)
Ys1 = Ys/(0.5*p*(L^2))
Nr1 = (1/4)*(Yv1)
Nv1 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv1)
Ns1 = -0.5*Ys1

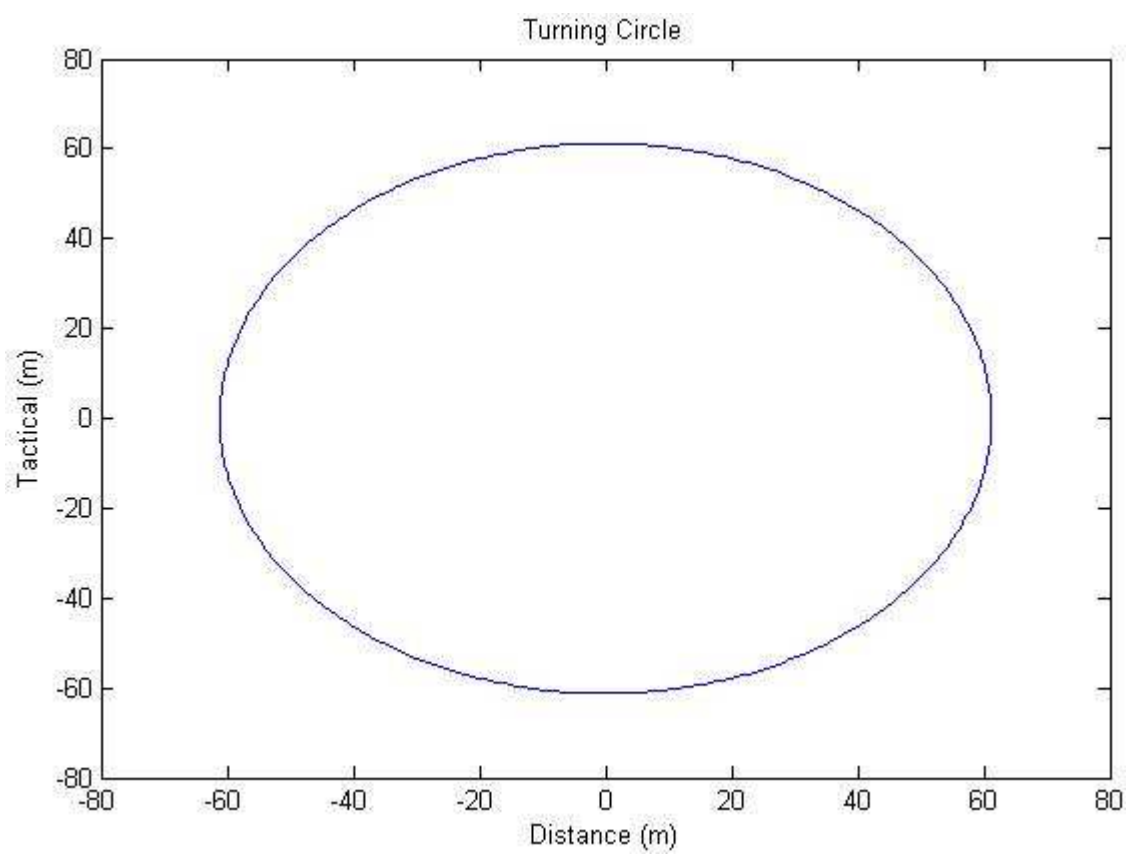
R = ((Yv1*(Nr1-m1*Xg1)-(Nv1*(Yr1-m1)))/(Yv1*Ns1-Nv1*Ys1))
r1=(1/s)*L
R1=R*r1

figure (1)
theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x=R1*cos(theta)
y=R1*sin(theta)
plot(x,y)
hold on

```



```
title('Turning Circle')  
xlabel('Distance (m)')  
ylabel('Tactical (m)')  
hold off
```



```

clear;clc;

% Initial conditions

% L      : panjang kapal
% s      : rudder angle
% p      : massa jenis air laut
% m1     : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1    : x koordinat dari CG
% Nr1    : turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv1    : turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns110  : turunan pertama koefisien N fungsi s (10 derajat)
% Yv1    : turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr1    : turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys110  : turunan pertama koefisien Y fungsi s (10 derajat)

%ZIG-ZAG -- 10/10 ukuran fin asli

s10 = (pi*10)/180;
x    = 14.91;
L    = 28;
p    = 1025;
u    = 7.716;
m    = 32331.972;
Xg   = 14.91;
Yv   = -15.067;
Ys10 = -80.567;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv1 = Yv/(0.5*p*(L^2))
Yr1 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv1)
Ys110 = Ys10/(0.5*p*(L^2))
Nr1 = (1/4)*(Yv1)
Nv1 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv1)
Ns110 = -0.5*Ys110

Ra1 = ((Yv1*(Nr1-m1*Xg1)-(Nv1*(Yr1-m1)))/(Yv1*Ns110-Nv1*Ys110))
r2=(1/s10)*L
R2=Ra1*r2

% w = kecepatan sudut
% t = time scale
% q = tan E/2
% y = yaw oscillation

w=u/R2
t=pi/w
q=w*x/u
at=atan(q)
y=(-s10)*cos(w*t-at)

```

```

figure (2)
theta1=linspace(0, pi, 360);
x2=t*cos(theta1)
y2=y*sin(theta1)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x3=(-t*-cos(theta2))+(2*t)
y3=(-y*-sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x4=(t*cos(theta3))+(4*t)
y4=(y*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x5=(-t*-cos(theta4))+(6*t)
y5=(-y*-sin(theta4))

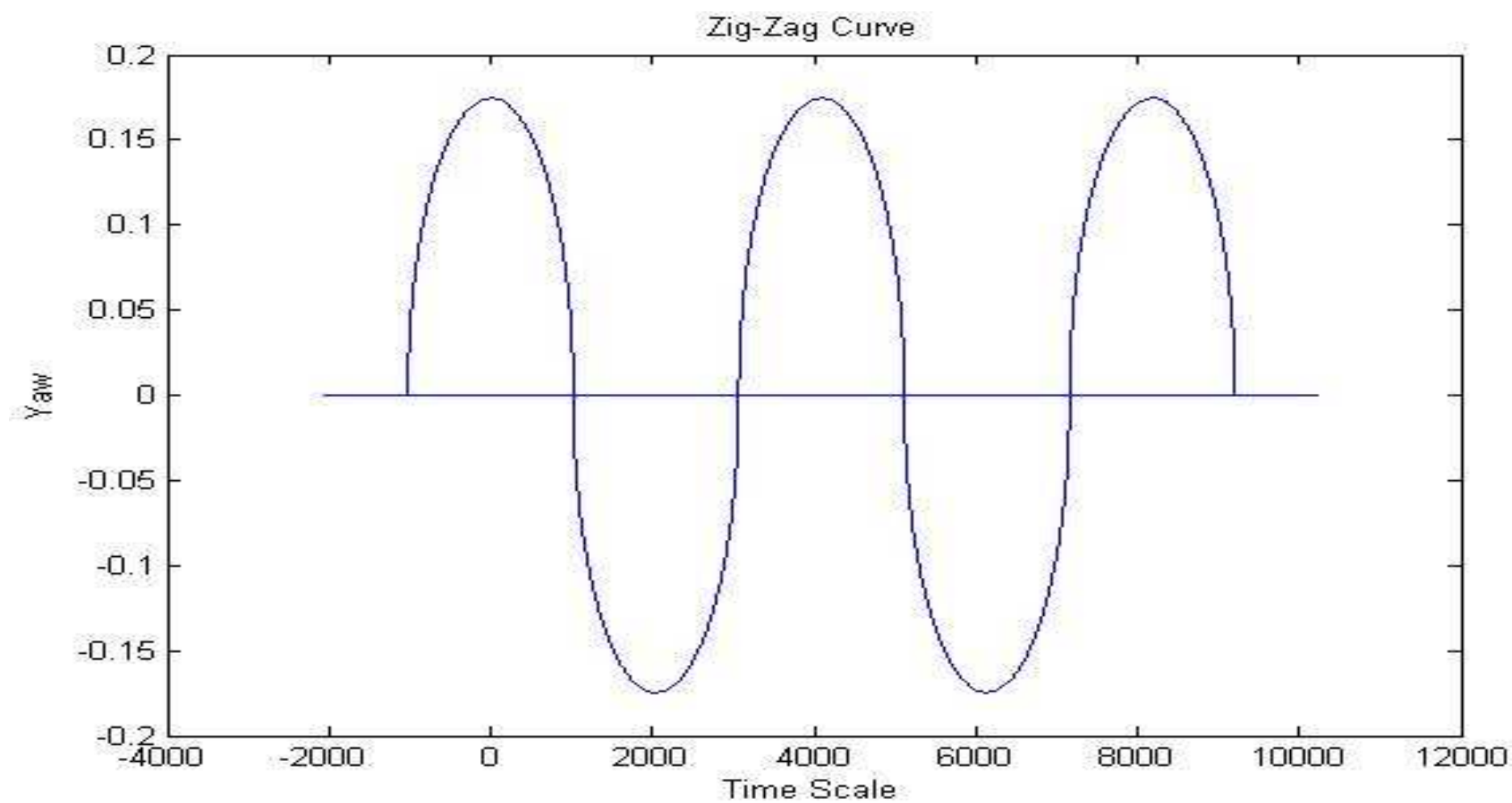
theta5=linspace(0, pi, 360);
x6=(t*cos(theta5))+(8*t)
y6=(y*sin(theta5))

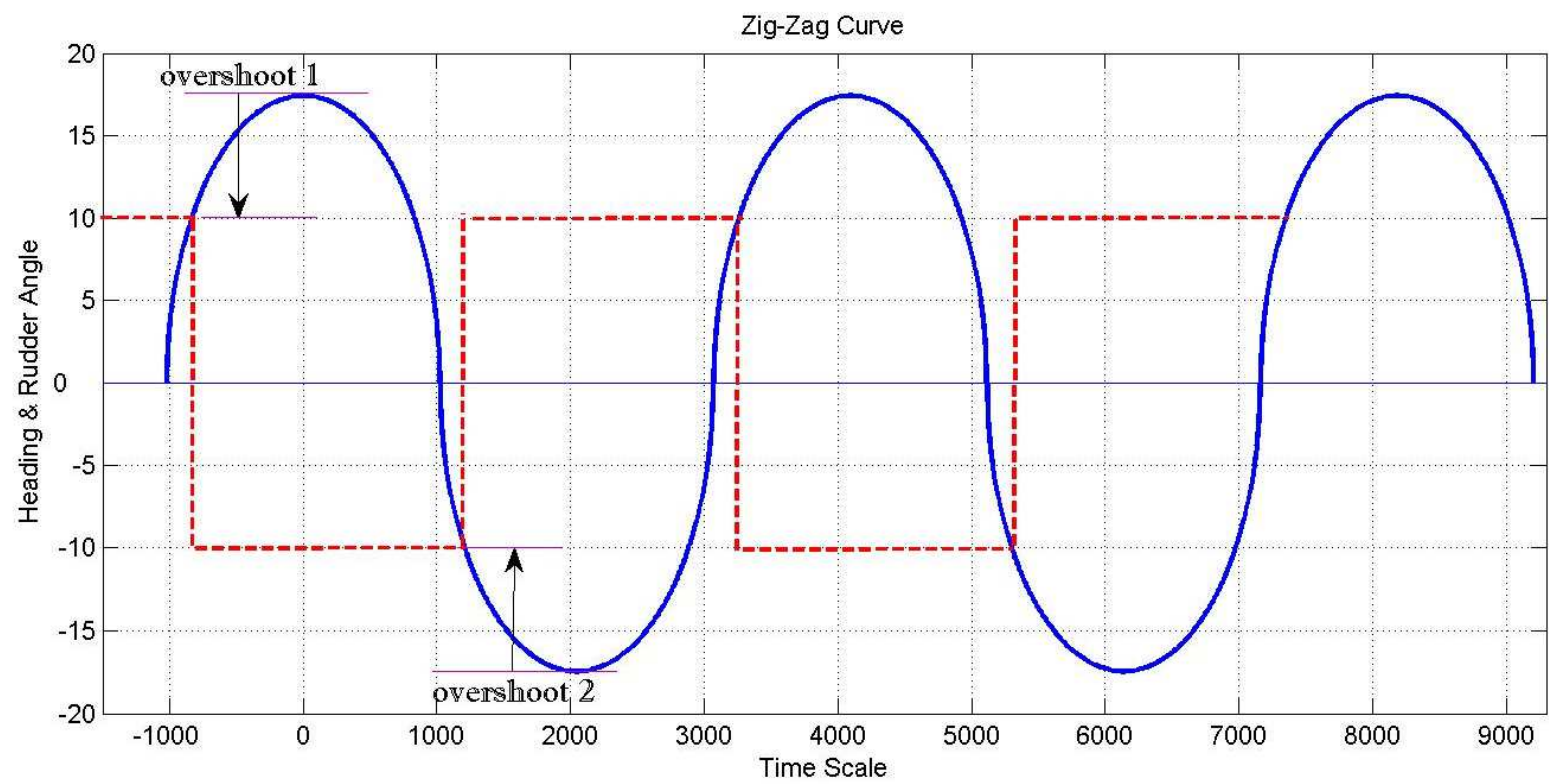
x7=[(-2*t) 10*t]
y7=[0 0]

plot(x2,y2)
hold on
plot(x3,y3)
plot(x4,y4)
plot(x5,y5)
plot(x6,y6)
plot(x7,y7)

title('Zig-Zag Curve')
xlabel('Time Scale')
ylabel('Yaw')
hold off

```





```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr12: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv12: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns12: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv12: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr12: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys12: turunan pertama koefisien Y fungsi s


% Turning Circle -- ukuran fin perpanjang 0.2 m

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu2 = 29.594;
Yv2 = -17.749;
Ys2 = -810.423;

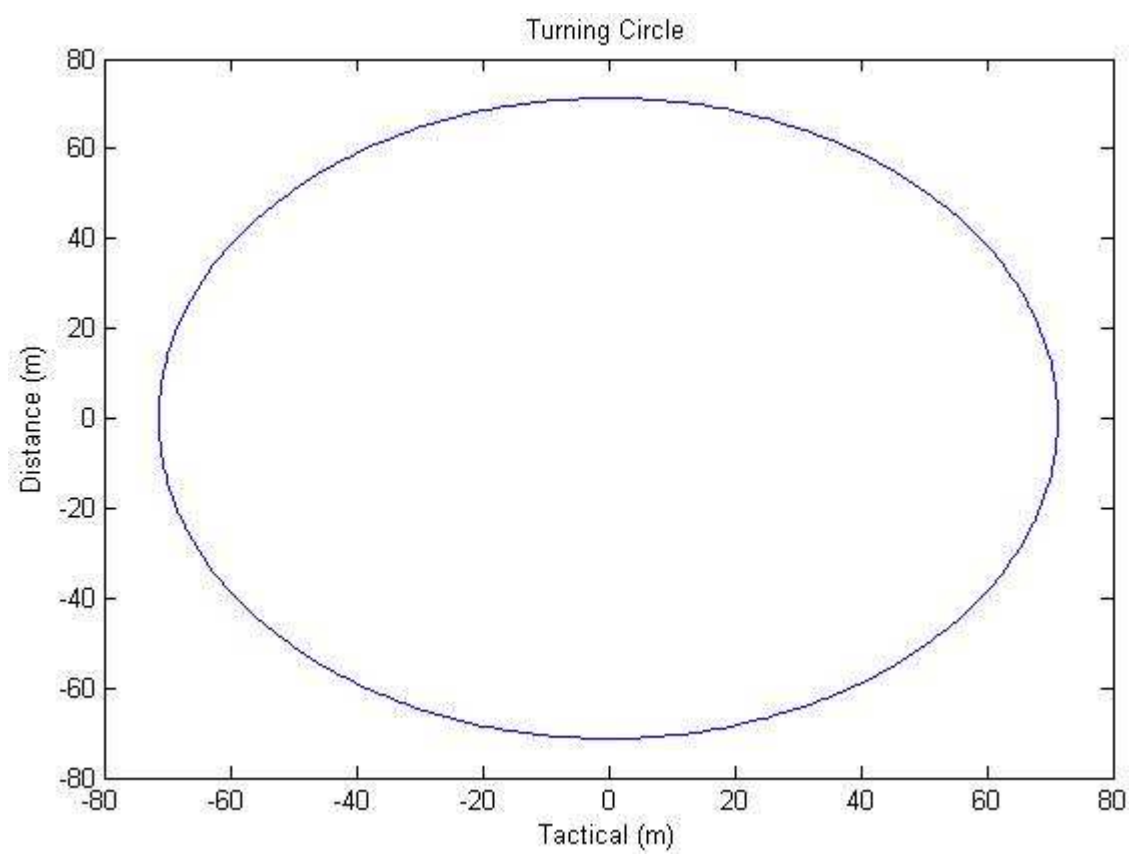
m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv12 = Yv2/(0.5*p*(L^2))
Yr12 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv12)
Ys12 = Ys2/(0.5*p*(L^2))
Nr12 = (1/4)*(Yv12)
Nv12 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv12)
Ns12 = -0.5*Ys12

Rv1 = ((Yv12*(Nr12-m1*Xg1)-(Nv12*(Yr12-m1)))/(Yv12*Ns12-
Nv12*Ys12))
r3=(1/s)*L
R3=Rv1*r3

%TURNING CIRCLE
figure (3)
theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x=R3*cos(theta)
y=R3*sin(theta)
plot(x,y)
hold on

```

```
title('Turning Circle')  
xlabel('Tactical (m)')  
ylabel('Distance (m)')  
hold off
```

```

clear;clc;

% Initial conditions

% L      : panjang kapal
% s      : rudder angle
% p      : massa jenis air laut
% m1     : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1    : x koordinat dari CG
% Nr1    : turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv1    : turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns1210 : turunan pertama koefisien N fungsi s (10 derajat)
% Yv1    : turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr1    : turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys1210 : turunan pertama koefisien Y fungsi s (10 derajat)

%ZIG-ZAG -- 10/10 ukuran fin perpanjang 0.2 m

s10 = (pi*10)/180;
x    = 14.91;
L    = 28;
p    = 1025;
u    = 7.716;
m    = 32331.972;
Xg   = 14.91;
Yv2  = -17.749;
Ys210 = -79.690;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv12 = Yv2/(0.5*p*(L^2))
Yr12 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv12)
Ys1210 = Ys210/(0.5*p*(L^2))
Nr12 = (1/4)*(Yv12)
Nv12 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv12)
Ns1210 = -0.5*Ys1210

Rv12 = ((Yv12*(Nr12-m1*Xg1)-(Nv12*(Yr12-m1)))/(Yv12*Ns1210-
Nv12*Ys1210))
r4=(1/s10)*L
R4=Rv12*r4

% w = kecepatan sudut
% t = time scale
% q = tan E/2
% y = yaw oscillation

w2=u/R4
ta=pi/w2
q=w2*x/u
at=atan(q)

```

```

ya=(-s10)*cos(w2*ta-at)

figure (4)
thetal=linspace(0, pi, 360);
x2=ta*cos(thetal)
y2=ya*sin(thetal)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x3=(-ta*-cos(theta2))+(2*ta)
y3=(-ya*-sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x4=(ta*cos(theta3))+(4*ta)
y4=(ya*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x5=(-ta*-cos(theta4))+(6*ta)
y5=(-ya*-sin(theta4))

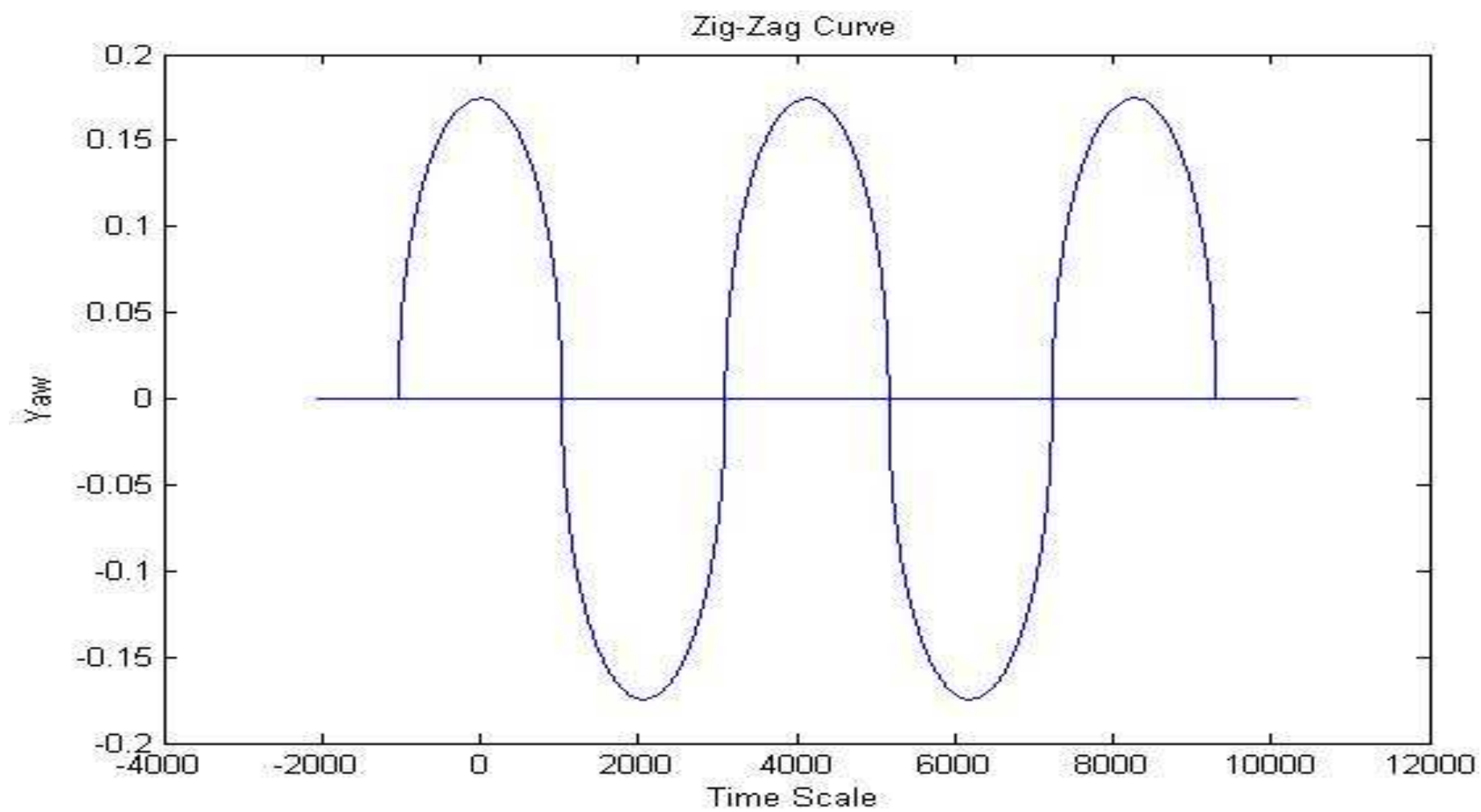
theta5=linspace(0, pi, 360);
x6=(ta*cos(theta5))+(8*ta)
y6=(ya*sin(theta5))

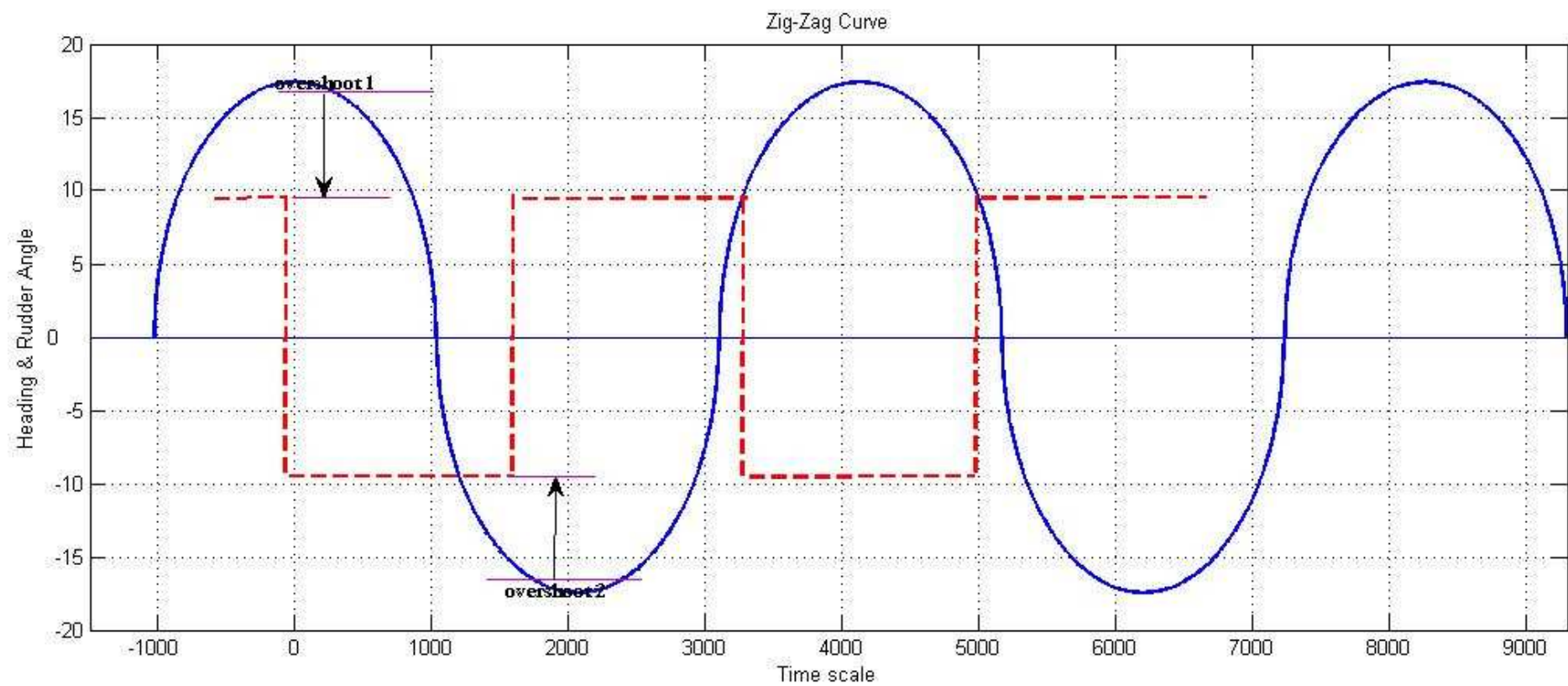
x7=[(-2*ta) 10*ta]
y7=[0 0]

plot(x2,y2)
hold on
plot(x3,y3)
plot(x4,y4)
plot(x5,y5)
plot(x6,y6)
plot(x7,y7)

title('Zig-Zag Curve')
xlabel('Time Scale')
ylabel('Yaw')
hold off

```





```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr13: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv13: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns13: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv13: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr13: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys13: turunan pertama koefisien Y fungsi s

%UKURAN FIN PERPANJANG 0.4

% Turning Circle
s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu3 = 30.394;
Yv3 = -17.987;
Ys3 = -1097.94;

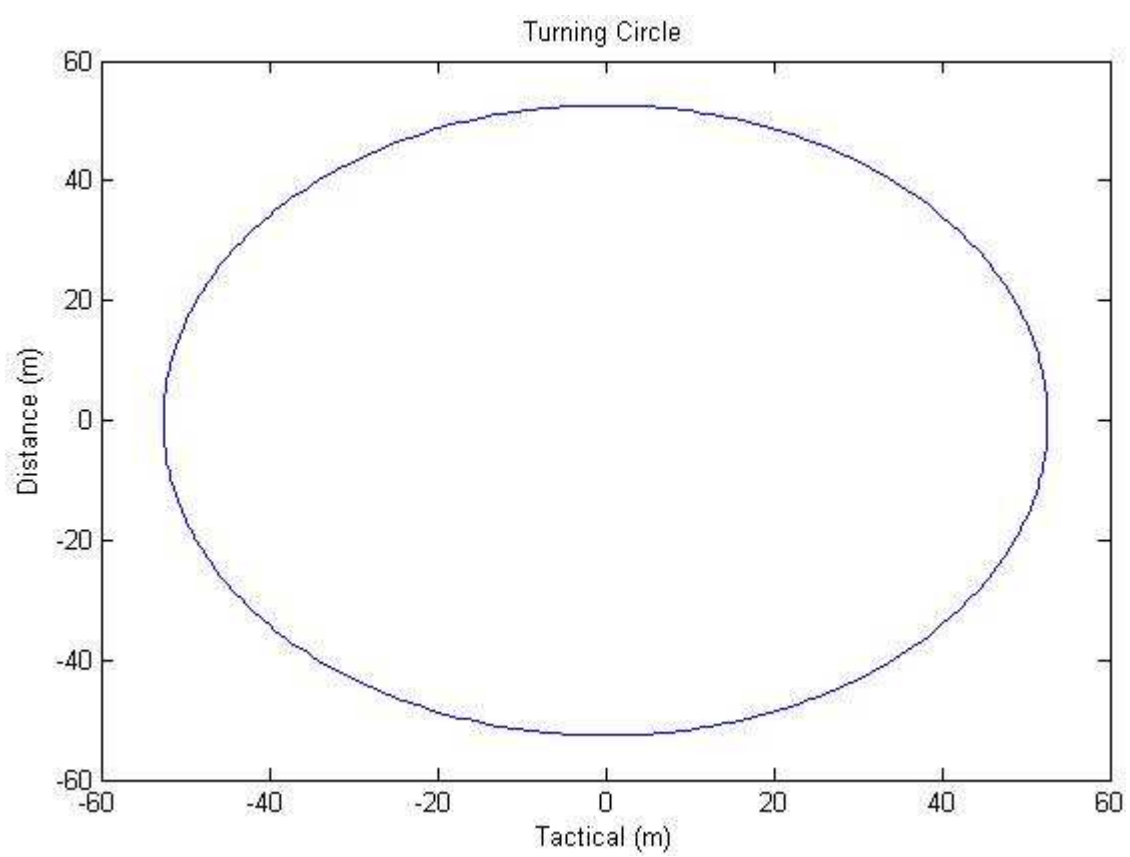
m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv13 = Yv3/(0.5*p*(L^2))
Yr13 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv13)
Ys13 = Ys3/(0.5*p*(L^2))
Nr13 = (1/4)*(Yv13)
Nv13 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv13)
Ns13 = -0.5*Ys13

Rv2 = ((Yv13*(Nr13-m1*Xg1)-(Nv13*(Yr13-m1)))/(Yv13*Ns13-
Nv13*Ys13))
r5=(1/s)*L
R5=Rv2*r5

%TURNING CIRCLE
figure (5)
theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x=R5*cos(theta)
y=R5*sin(theta)
plot(x,y)
hold on

```

```
title('Turning Circle')  
xlabel('Tactical (m)')  
ylabel('Distance (m)')  
hold off
```




```

clear;clc;

% Initial conditions

% L      : panjang kapal
% s      : rudder angle
% p      : massa jenis air laut
% m1     : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1    : x koordinat dari CG
% Nr1    : turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv1    : turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns1310 : turunan pertama koefisien N fungsi s (10 derajat)
% Yv1    : turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr1    : turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys1310 : turunan pertama koefisien Y fungsi s (10 derajat)

%ZIG-ZAG -- 10/10 ukuran fin perpanjang 0.4 m

s = (pi*10)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
s10 = (pi*10)/180;
Yv3 = -17.987;
Ys310 = -77.580;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv13 = Yv3/(0.5*p*(L^2))
Yr13 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv13)
Ys1310 = Ys310/(0.5*p*(L^2))
Nr13 = (1/4)*(Yv13)
Nv13 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv13)
Ns1310 = -0.5*Ys1310

Rv22 = ((Yv13*(Nr13-m1*Xg1)-(Nv13*(Yr13-m1)))/(Yv13*Ns1310-
Nv13*Ys1310))
r6=(1/s10)*L
R6=Rv22*r6

% w = kecepatan sudut
% t = time scale
% q = tan E/2
% y = yaw oscillation

w3=u/R6
tb=pi/w3
q=w3*Xg/u

```

```

at=atan(q)
yb=(-s10)*cos(w3*tb-at)

figure (6)
theta1=linspace(0, pi, 360);
x2=tb*cos(theta1)
y2=yb*sin(theta1)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x3=(-tb*cos(theta2))+(2*tb)
y3=(-yb*sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x4=(tb*cos(theta3))+(4*tb)
y4=(yb*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x5=(-tb*cos(theta4))+(6*tb)
y5=(-yb*sin(theta4))

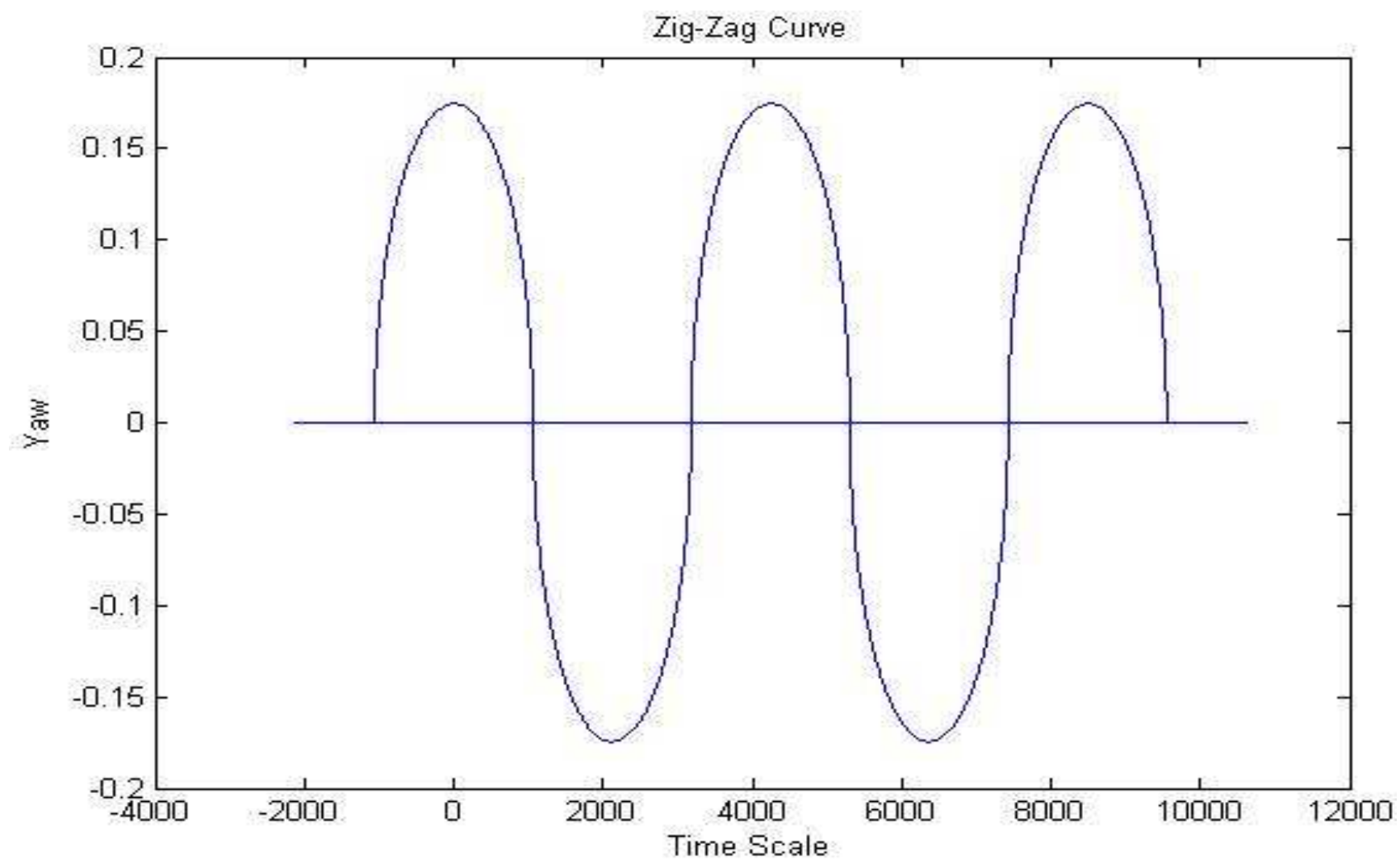
theta5=linspace(0, pi, 360);
x6=(tb*cos(theta5))+(8*tb)
y6=(yb*sin(theta5))

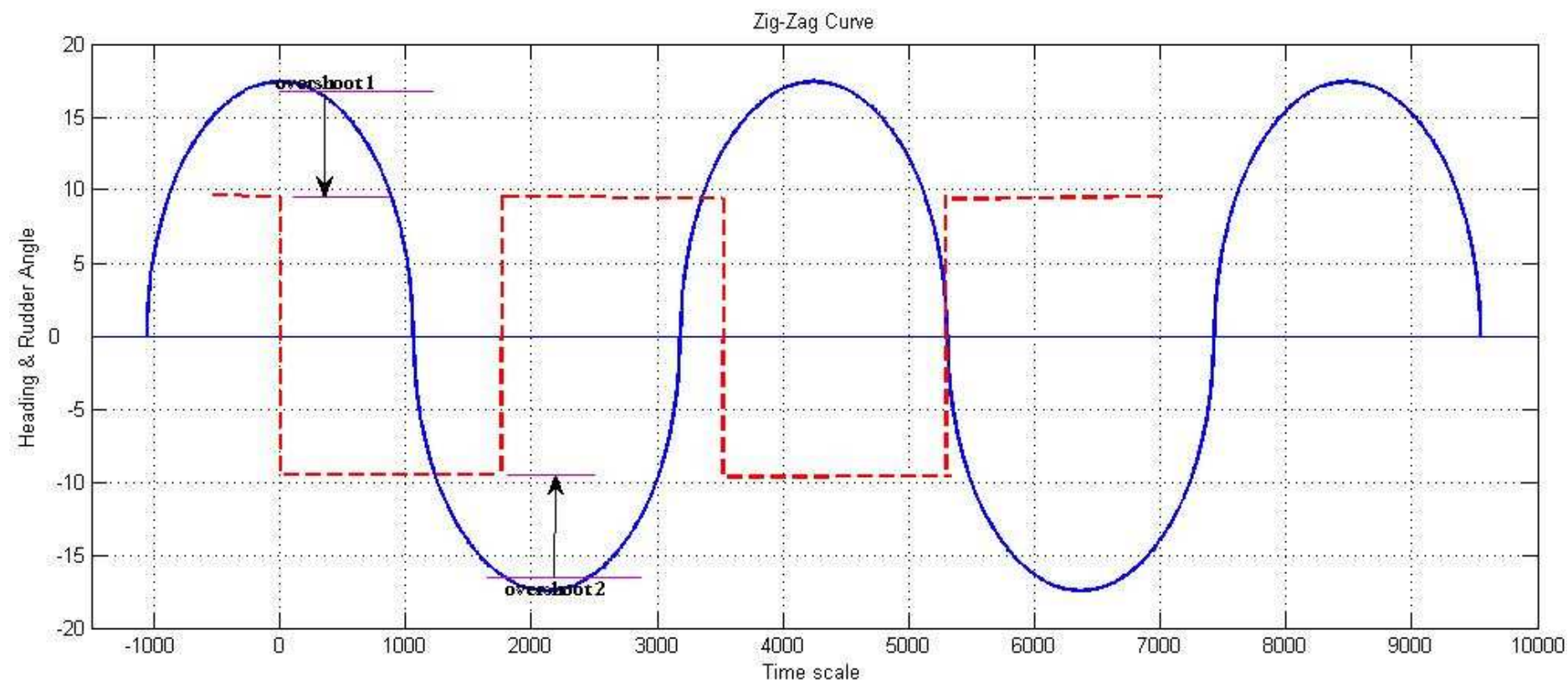
x7=[(-2*tb) 10*tb]
y7=[0 0]

plot(x2,y2)
hold on
plot(x3,y3)
plot(x4,y4)
plot(x5,y5)
plot(x6,y6)
plot(x7,y7)

title('Zig-Zag Curve')
xlabel('Time Scale')
ylabel('Yaw')
hold off

```





```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr14: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv14: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns14: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv14: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr14: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys14: turunan pertama koefisien Y fungsi s


%UKURAN FIN PERPENDEK 0.2

% Turning Circle
s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu4 = 27.589;
Yv4 = -16.056;
Ys4 = -823.77;

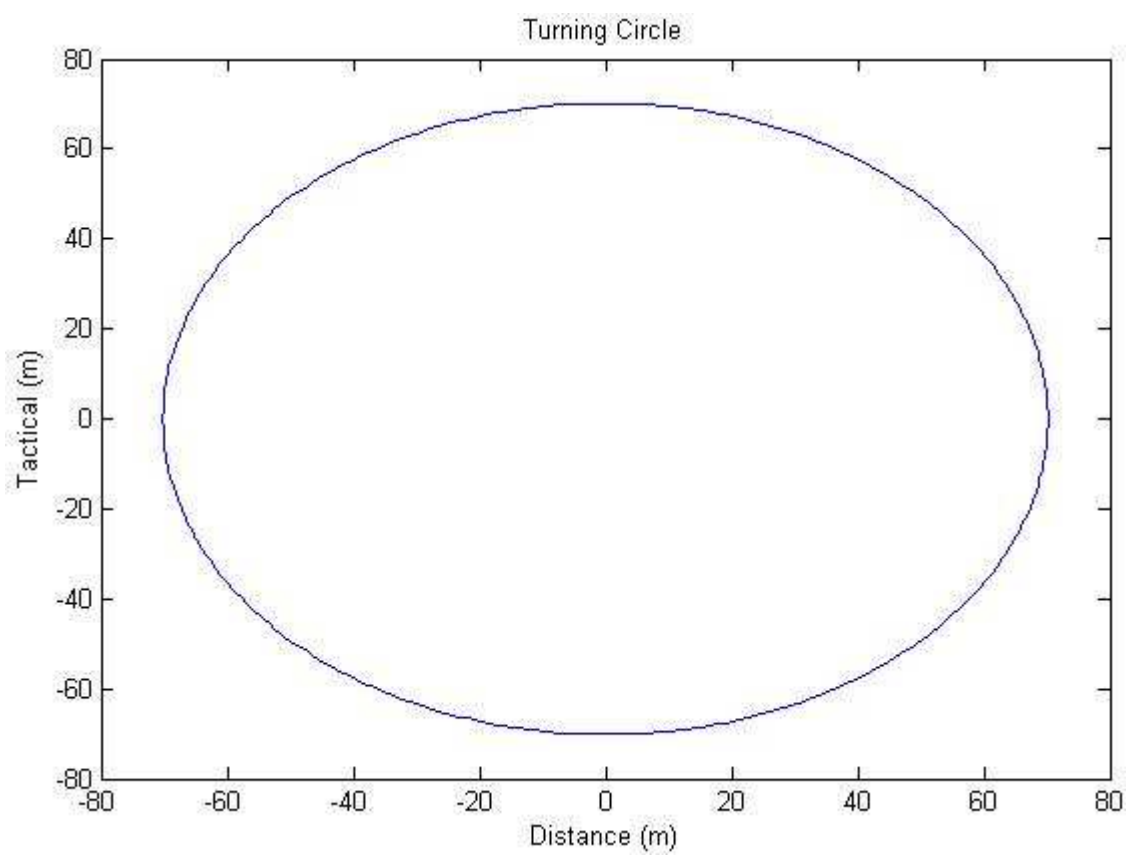
m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv14 = Yv4/(0.5*p*(L^2))
Yr14 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv14)
Ys14 = Ys4/(0.5*p*(L^2))
Nr14 = (1/4)*(Yv14)
Nv14 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv14)
Ns14 = -0.5*Ys14

Rv3 = ((Yv14*(Nr14-m1*Xg1)-(Nv14*(Yr14-m1)))/(Yv14*Ns14-
Nv14*Ys14))
r7=(1/s)*L
R7=Rv3*r7

%TURNING CIRCLE
figure (7)
theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x=R7*cos(theta)
y=R7*sin(theta)
plot(x,y)
hold on

```

```
title('Turning Circle')
xlabel('Distance (m)')
ylabel('Tactical (m)')
hold off
```



```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr14: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv14: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns14: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv14: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr14: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys14: turunan pertama koefisien Y fungsi s

%ZIG-ZAG -- 10/10

L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu4 = 27.589;
Yv4 = -16.056;
s10 = (pi*10)/180;
Ys410 = -82.087;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv14 = Yv4/(0.5*p*(L^2))
Yr14 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv14)
Ys1410 = Ys410/(0.5*p*(L^2))
Nr14 = (1/4)*(Yv14)
Nv14 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv14)
Ns1410 = -0.5*Ys1410

Rv32 = ((Yv14*(Nr14-m1*Xg1)-(Nv14*(Yr14-m1)))/(Yv14*Ns1410-
Nv14*Ys1410))
r8=(1/s10)*L
R8=Rv32*r8

% w = kecepatan sudut
% t = time scale
% q = tan E/2
% y = yaw oscillation

w4=u/R8
tc=pi/w4
q=w4*Xg/u
at=atan(q)

```



```

yc=(-s10)*cos(w4*tc-at)

figure (8)
theta1=linspace(0, pi, 360);
x2=tc*cos(theta1)
y2=yc*sin(theta1)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x3=(-tc*cos(theta2))+(2*tc)
y3=(-yc*sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x4=(tc*cos(theta3))+(4*tc)
y4=(yc*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x5=(-tc*cos(theta4))+(6*tc)
y5=(-yc*sin(theta4))

theta5=linspace(0, pi, 360);
x6=(tc*cos(theta5))+(8*tc)
y6=(yc*sin(theta5))

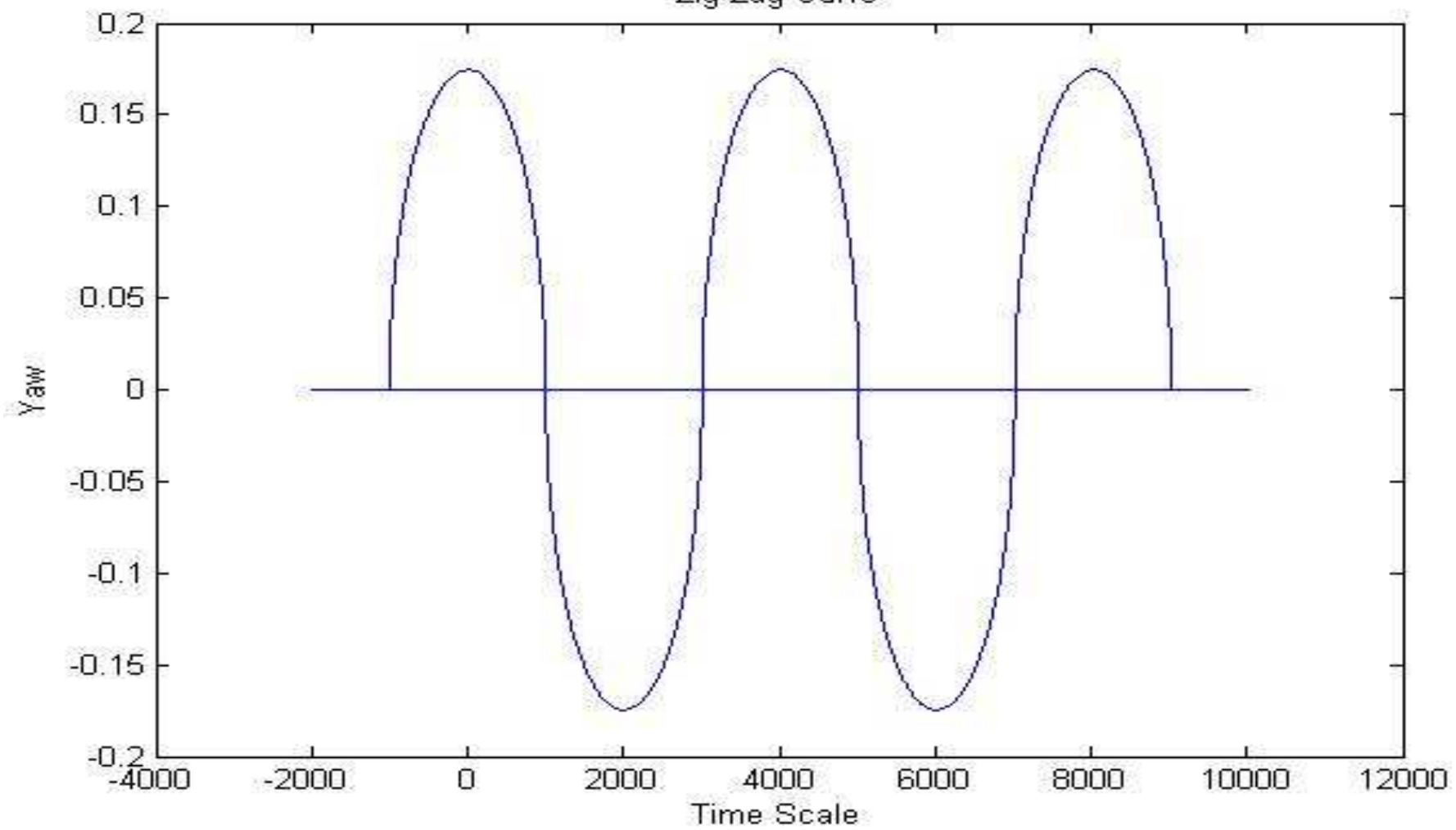
x7=[(-2*tc) 10*tc]
y7=[0 0]

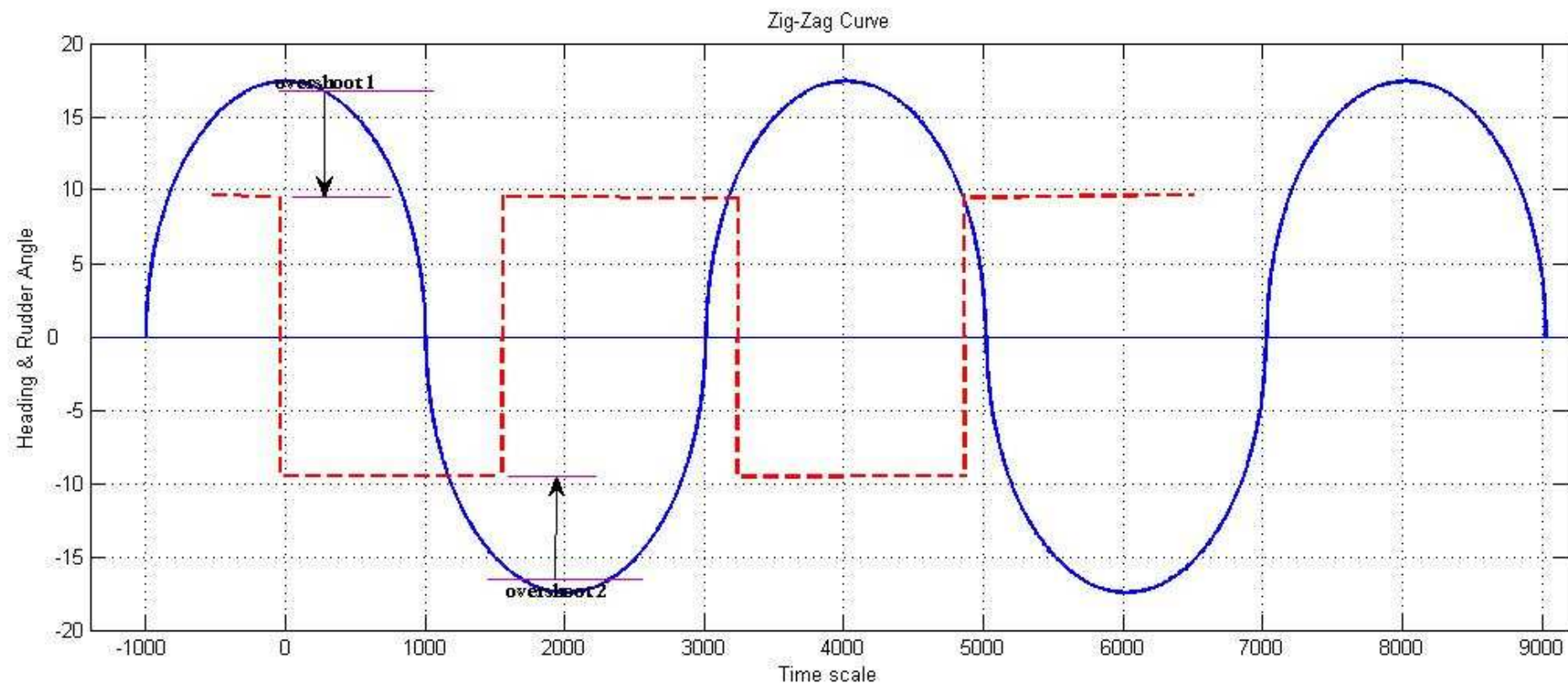
plot(x2,y2)
hold on
plot(x3,y3)
plot(x4,y4)
plot(x5,y5)
plot(x6,y6)
plot(x7,y7)

title('Zig-Zag Curve')
xlabel('Time Scale')
ylabel('Yaw')
hold off

```

Zig-Zag Curve





```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr15: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv15: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns15: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv15: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr15: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys15: turunan pertama koefisien Y fungsi s

%UKURAN FIN PERPENDEK 0.4

% Turning Circle
s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu5 = 27.688;
Yv5 = -15.343;
Ys5 = -804.82;

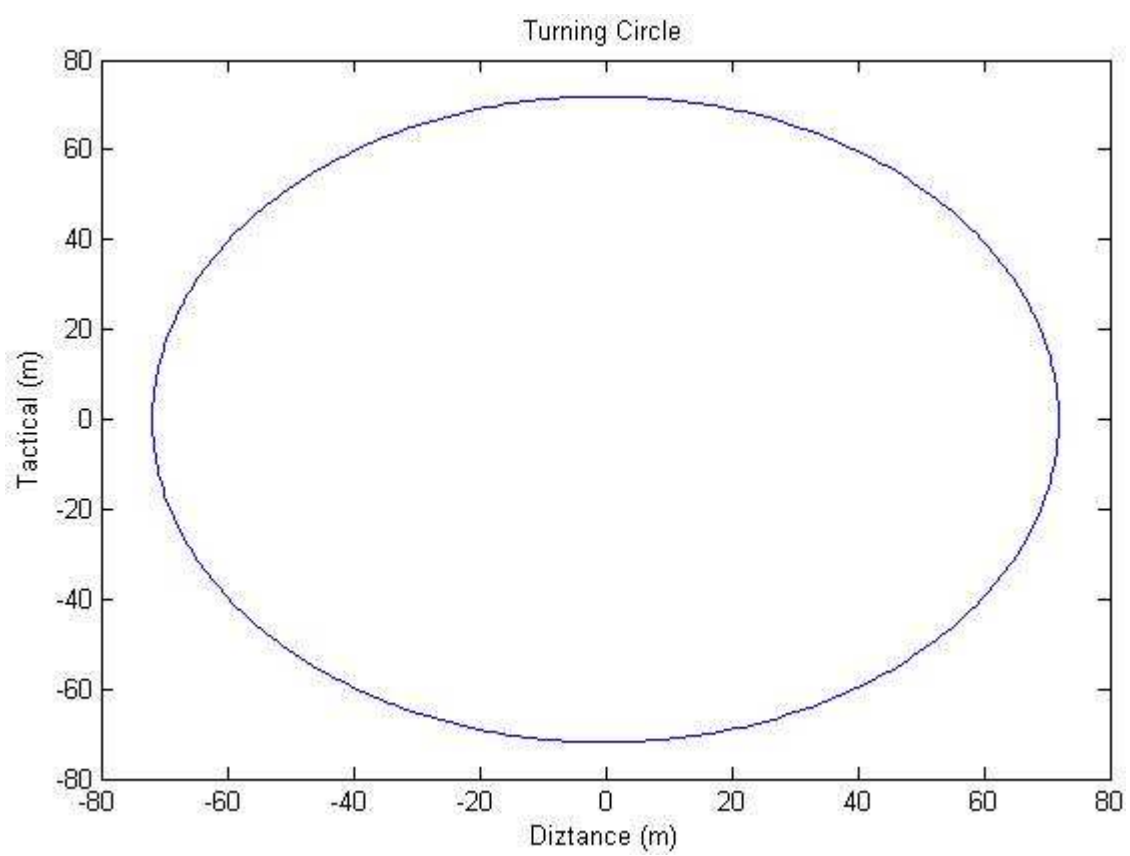
m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv15 = Yv5/(0.5*p*(L^2))
Yr15 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv15)
Ys15 = Ys5/(0.5*p*(L^2))
Nr15 = (1/4)*(Yv15)
Nv15 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv15)
Ns15 = -0.5*Ys15

Rv4 = ((Yv15*(Nr15-m1*Xg1)-(Nv15*(Yr15-m1)))/(Yv15*Ns15-
Nv15*Ys15))
r9=(1/s)*L
R9=Rv4*r9

%TURNING CIRCLE
figure (9)
theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x=R9*cos(theta)
y=R9*sin(theta)
plot(x,y)
hold on

```

```
title('Turning Circle')
xlabel('Diztance (m)')
ylabel('Tactical (m)')
hold off
```



```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr15: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv15: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns15: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv15: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr15: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys15: turunan pertama koefisien Y fungsi s

%ZIG-ZAG -- 10/10 ukuran fin perpendek 0.4 m

L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu5 = 27.688;
Yv5 = -15.343;
s10 = (pi*10)/180;
Ys510 = -81.675;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv15 = Yv5/(0.5*p*(L^2))
Yr15 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv15)
Ys1510 = Ys510/(0.5*p*(L^2))
Nr15 = (1/4)*(Yv15)
Nv15 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv15)
Ns1510 = -0.5*Ys1510

Rv42 = ((Yv15*(Nr15-m1*Xg1)-(Nv15*(Yr15-m1)))/(Yv15*Ns1510-
Nv15*Ys1510))
r10=(1/s10)*L
R10=Rv42*r10

% w = kecepatan sudut
% t = time scale
% q = tan E/2
% y = yaw oscillation

w5=u/R10
td=pi/w5
q=w5*Xg/u
at=atan(q)

```

```

yd=(-s10)*cos(w5*td-at)

figure (10)
theta1=linspace(0, pi, 360);
x2=td*cos(theta1)
y2=yd*sin(theta1)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x3=(-td*cos(theta2))+(2*td)
y3=(-yd*sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x4=(td*cos(theta3))+(4*td)
y4=(yd*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x5=(-td*cos(theta4))+(6*td)
y5=(-yd*sin(theta4))

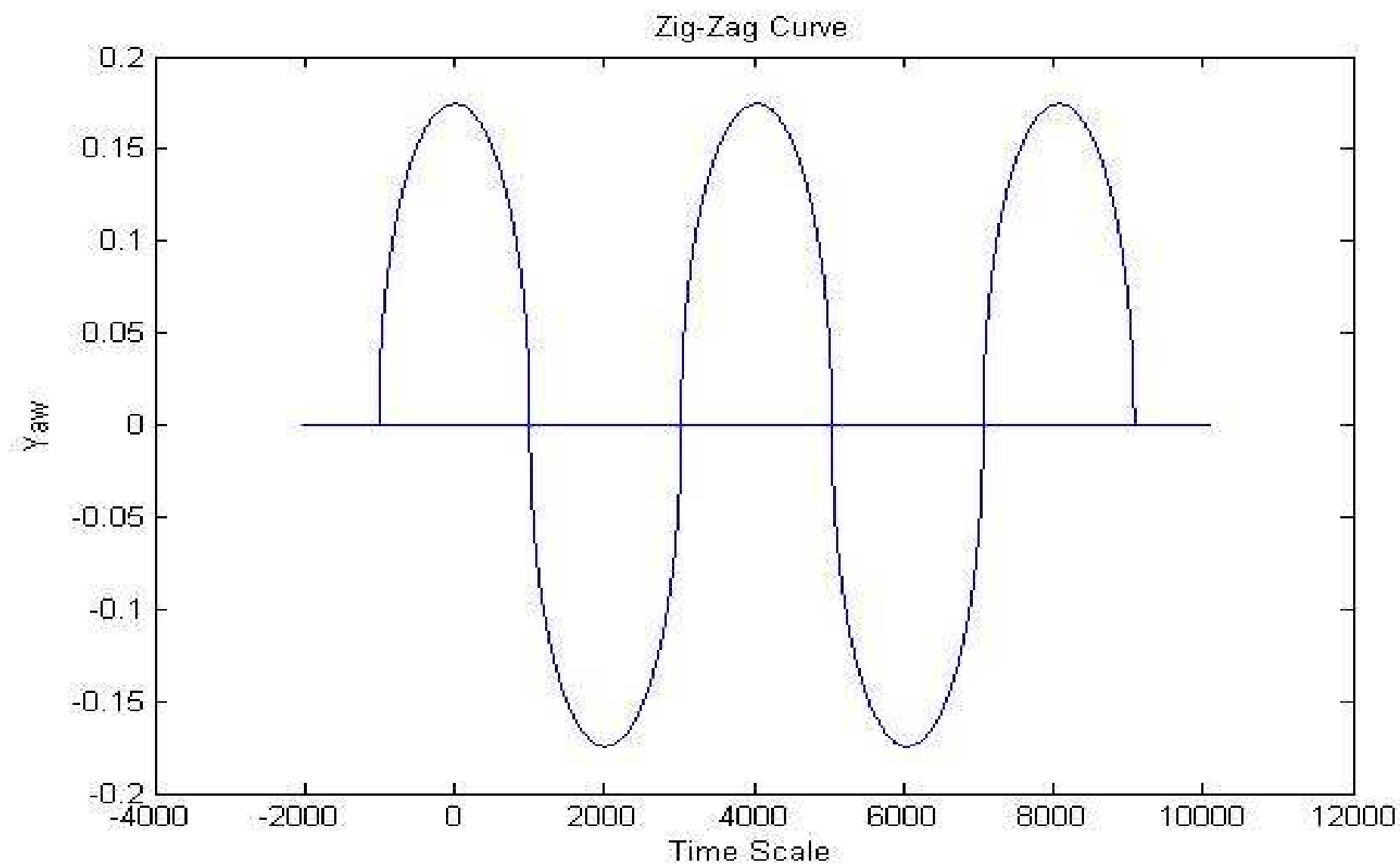
theta5=linspace(0, pi, 360);
x6=(td*cos(theta5))+(8*td)
y6=(yd*sin(theta5))

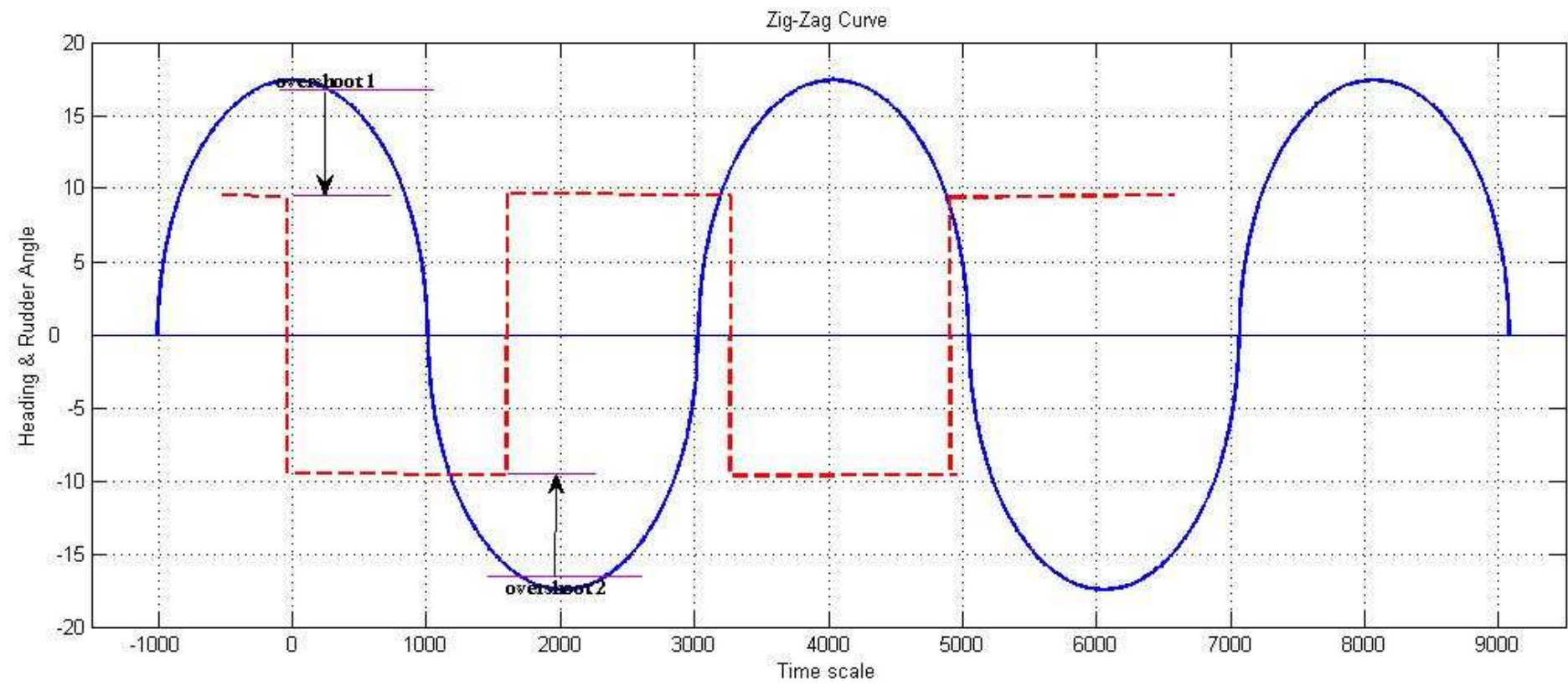
x7=[(-2*td) 10*td]
y7=[0 0]

plot(x2,y2)
hold on
plot(x3,y3)
plot(x4,y4)
plot(x5,y5)
plot(x6,y6)
plot(x7,y7)

title('Zig-Zag Curve')
xlabel('Time Scale')
ylabel('Yaw')
hold off

```



LAMPIRAN III

REKAPITULASI PENULISAN PROGRAM PADA

MATLAB UNTUK PERHITUNGAN *TURNING*

CIRCLE* DAN *ZIG-ZAG MANEUVER

```

clear;clc;

% Initial conditions

% L : panjang kapal
% s : rudder angle
% p : massa jenis air laut
% m1 : massa kapal, termasuk free-flooding spaces
% Xg1: x koordinat dari CG
% Nr1: turunan pertama koefisien N fungsi r
% Nv1: turunan pertama koefisien N fungsi v
% Ns1: turunan pertama koefisien N fungsi s
% Yv1: turunan pertama koefisien Y fungsi v
% Yr1: turunan pertama koefisien Y fungsi r
% Ys1: turunan pertama koefisien Y fungsi s

%UKURAN FIN ASLI

% Turning Circle

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu = 27.703;
Yv = -15.067;
Ys = -944.742;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv1 = Yv/(0.5*p*(L^2))
Yr1 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv1)
Ys1 = Ys/(0.5*p*(L^2))
Nr1 = (1/4)*(Yv1)
Nv1 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv1)
Ns1 = -0.5*Ys1

R = ((Yv1*(Nr1-m1*Xg1)-(Nv1*(Yr1-m1)))/(Yv1*Ns1-Nv1*Ys1))
r1=(1/s)*L
R1=R*r1

theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x1=R1*cos(theta)
y1=R1*sin(theta)

%UKURAN FIN PERPANJANG 0.2 m

% Turning Circle

```

```

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu2 = 29.594;
Yv2 = -17.749;
Ys2 = -810.423;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv12 = Yv2/(0.5*p*(L^2))
Yr12 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv12)
Ys12 = Ys2/(0.5*p*(L^2))
Nr12 = (1/4)*(Yv12)
Nv12 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv12)
Ns12 = -0.5*Ys12

Rv1 = ((Yv12*(Nr12-m1*Xg1)-(Nv12*(Yr12-m1)))/(Yv12*Ns12-
Nv12*Ys12))
r3=(1/s)*L
R3=Rv1*r3

theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x2=R3*cos(theta)
y2=R3*sin(theta)

```

%UKURAN FIN PERPANJANG 0.4 m

% Turning Circle

```

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu3 = 30.394;
Yv3 = -17.987;
Ys3 = -1097.94;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv13 = Yv3/(0.5*p*(L^2))
Yr13 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv13)

```

```

Ys13 = Ys3/(0.5*p*(L^2))
Nr13 = (1/4)*(Yv13)
Nv13 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv13)
Ns13 = -0.5*Ys13

Rv2 = ((Yv13*(Nr13-m1*Xg1)-(Nv13*(Yr13-m1)))/(Yv13*Ns13-
Nv13*Ys13))
r5=(1/s)*L
R5=Rv2*r5

theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x3=R5*cos(theta)
y3=R5*sin(theta)

```

%UKURAN FIN PERPENDEK 0.2

% Turning Circle

```

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu4 = 27.589;
Yv4 = -16.056;
Ys4 = -823.77;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv14 = Yv4/(0.5*p*(L^2))
Yr14 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv14)
Ys14 = Ys4/(0.5*p*(L^2))
Nr14 = (1/4)*(Yv14)
Nv14 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv14)
Ns14 = -0.5*Ys14

Rv3 = ((Yv14*(Nr14-m1*Xg1)-(Nv14*(Yr14-m1)))/(Yv14*Ns14-
Nv14*Ys14))
r7=(1/s)*L
R7=Rv3*r7

theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x4=R7*cos(theta)
y4=R7*sin(theta)

```

%UKURAN FIN PERPENDEK 0.4

% Turning Circle

```

s = (pi*35)/180;
L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu5 = 27.688;
Yv5 = -15.343;
Ys5 = -804.82;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv15 = Yv5/(0.5*p*(L^2))
Yr15 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv15)
Ys15 = Ys5/(0.5*p*(L^2))
Nr15 = (1/4)*(Yv15)
Nv15 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv15)
Ns15 = -0.5*Ys15

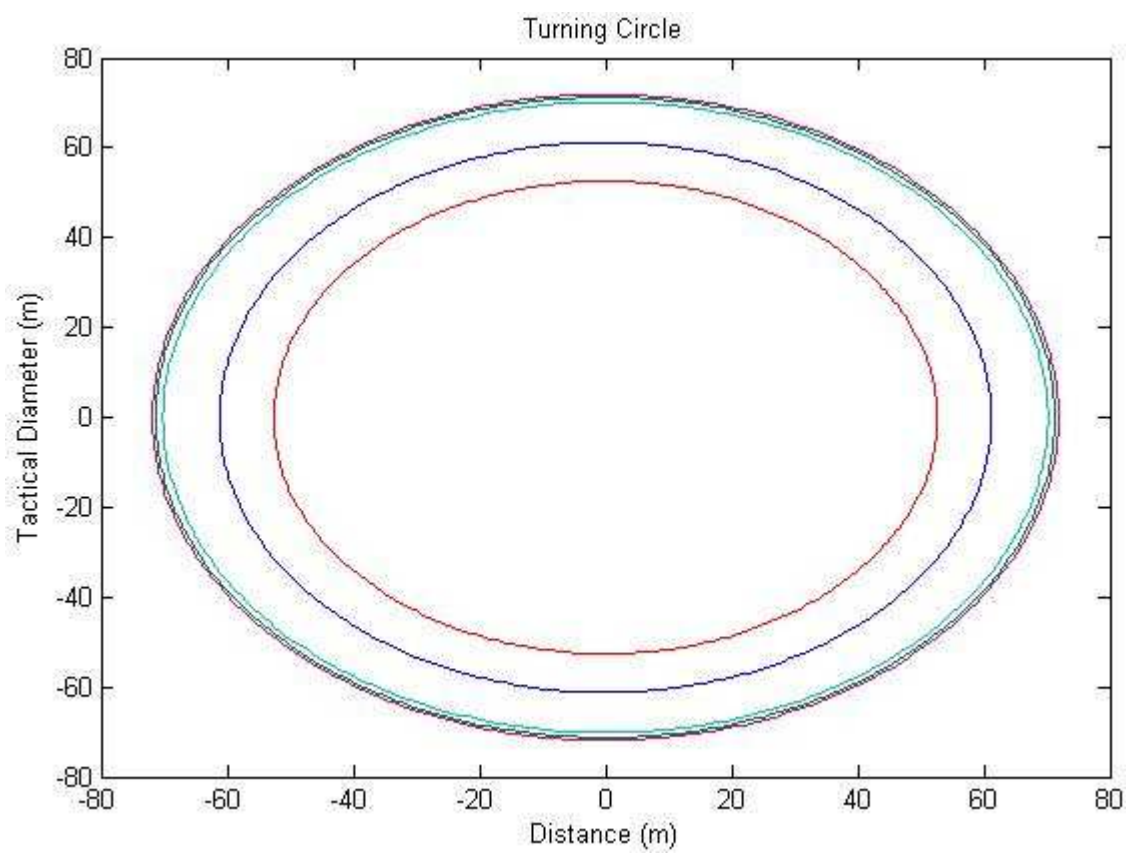
Rv4 = ((Yv15*(Nr15-m1*Xg1)-(Nv15*(Yr15-m1)))/(Yv15*Ns15-
Nv15*Ys15))
r9=(1/s)*L
R9=Rv4*r9

theta=linspace(0, 2*pi, 360);
x5=R9*cos(theta)
y5=R9*sin(theta)

figure (11)
plot(x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4,x5,y5)
hold on

title('Turning Circle')
xlabel('Distance (m)')
ylabel('Tactical Diameter (m)')
hold off

```




```
%ZIG-ZAG -- 10/10 (ukuran fin asli)
```

```
s10 = (pi*10)/180;  
L   = 28;  
p   = 1025;  
x   = 14.91;  
Xg  = 14.91;  
m   = 32331.972;  
u   = 7.716;  
Yv  = -15.067;  
Ys10 = -80.567;
```

```
m1 = m/(0.5*p*L^3)  
Xg1 = Xg/L  
Xudot=-(0.1*m)  
Yvdot=-(1*m)  
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))  
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))  
Xp = Xg + (0.1*L)  
Yv1 = Yv/(0.5*p*(L^2))  
Yr1 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv1)  
Ys110 = Ys10/(0.5*p*(L^2))  
Nr1 = (1/4)*(Yv1)  
Nv1 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv1)  
Ns110 = -0.5*Ys110
```

```
Ra1 = ((Yv1*(Nr1-m1*Xg1)-(Nv1*(Yr1-m1)))/(Yv1*Ns110-Nv1*Ys110))  
r2=(1/s10)*L  
R2=Ra1*r2
```

```
w=u/R2  
t=pi/w  
q=w*x/u  
at=atan(q)  
y=(-s10)*cos(w*t-at)
```

```
theta1=linspace(0, pi, 360);  
x2=t*cos(theta1)  
y2=y*sin(theta1)
```

```
theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);  
x3=(-t*cos(theta2))+(2*t)  
y3=(-y*sin(theta2))
```

```
theta3=linspace(0, pi, 360);  
x4=(t*cos(theta3))+(4*t)  
y4=(y*sin(theta3))
```

```
theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);  
x5=(-t*cos(theta4))+(6*t)  
y5=(-y*sin(theta4))
```

```
theta5=linspace(0, pi, 360);  
x6=(t*cos(theta5))+(8*t)  
y6=(y*sin(theta5))
```

```
%ZIG-ZAG -- 10/10 (ukuran in +0.2)
```

```
s10 = (pi*10)/180;  
x    = 14.91;  
Yv2 = -17.749;  
Ys210 = -79.690;
```

```
m1 = m/(0.5*p*L^3)  
Xg1 = Xg/L  
Xudot=-(0.1*m)  
Yvdot=-(1*m)  
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))  
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))  
Xp = Xg + (0.1*L)  
Yv12 = Yv2/(0.5*p*(L^2))  
Yr12 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv12)  
Ys1210 = Ys210/(0.5*p*(L^2))  
Nr12 = (1/4)*(Yv12)  
Nv12 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv12)  
Ns1210 = -0.5*Ys1210
```

```
Rv12 = ((Yv12*(Nr12-m1*Xg1)-(Nv12*(Yr12-m1)))/(Yv12*Ns1210-  
Nv12*Ys1210))  
r4=(1/s10)*L  
R4=Rv12*r4
```

```
w2=u/R4  
ta=pi/w2  
q=w2*x/u  
at=atan(q)  
ya=(-s10)*cos(w2*ta-at)
```

```
theta1=linspace(0, pi, 360);  
x21=ta*cos(theta1)  
y21=ya*sin(theta1)
```

```
theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);  
x31=(-ta*-cos(theta2))+(2*ta)  
y31=(-ya*-sin(theta2))
```

```
theta3=linspace(0, pi, 360);  
x41=(ta*cos(theta3))+(4*ta)  
y41=(ya*sin(theta3))
```

```
theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);  
x51=(-ta*-cos(theta4))+(6*ta)  
y51=(-ya*-sin(theta4))
```

```
theta5=linspace(0, pi, 360);  
x61=(ta*cos(theta5))+(8*ta)  
y61=(ya*sin(theta5))
```

```
%ZIG-ZAG -- 10/10 (ukuran fin +0.4)
```

```

s10 = (pi*10)/180;
x    = 14.91;
Yv3  = -19.749;
Ys310 = -77.580;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv23 = Yv3/(0.5*p*(L^2))
Yr23 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv23)
Ys2310 = Ys310/(0.5*p*(L^2))
Nr23 = (1/4)*(Yv23)
Nv23 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv23)
Ns2310 = -0.5*Ys2310

Rv22 = ((Yv23*(Nr23-m1*Xg1)-(Nv23*(Yr23-m1)))/(Yv23*Ns2310-
Nv12*Ys2310))
r6=(1/s10)*L
R6=Rv22*r6

w3=u/R6
tb=pi/w3
q=w3*x/u
at=atan(q)
yb=(-s10)*cos(w3*tb-at)

theta1=linspace(0, pi, 360);
x22=tb*cos(theta1)
y22=yb*sin(theta1)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x32=(-tb*-cos(theta2))+(2*tb)
y32=(-yb*-sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x42=(tb*cos(theta3))+(4*tb)
y42=(yb*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x52=(-tb*-cos(theta4))+(6*tb)
y52=(-yb*-sin(theta4))

theta5=linspace(0, pi, 360);
x62=(tb*cos(theta5))+(8*tb)
y62=(yb*sin(theta5))

%ZIG-ZAG -- 10/10 (ukuran fin -0.2)

L = 28;
p = 1025;
u = 7.716;

```

```

m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu4 = 27.589;
Yv4 = -16.056;
s10 = (pi*10)/180;
Ys410 = -82.087;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv24 = Yv4/(0.5*p*(L^2))
Yr24 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv24)
Ys2410 = Ys410/(0.5*p*(L^2))
Nr24 = (1/4)*(Yv24)
Nv24 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv24)
Ns2410 = -0.5*Ys2410

Rv32 = ((Yv24*(Nr24-m1*Xg1)-(Nv24*(Yr24-m1)))/(Yv24*Ns2410-
Nv12*Ys2410))
r8=(1/s10)*L
R8=Rv32*r8

w4=u/R8
tc=pi/w4
q=w4*x/u
at=atan(q)
yc=(-s10)*cos(w4*tc-at)

thetal=linspace(0, pi, 360);
x23=tc*cos(thetal)
y23=yc*sin(thetal)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x33=(-tc*-cos(theta2))+(2*tc)
y33=(-yc*-sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x43=(tc*cos(theta3))+(4*tc)
y43=(yc*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x53=(-tc*-cos(theta4))+(6*tc)
y53=(-yc*-sin(theta4))

theta5=linspace(0, pi, 360);
x63=(tc*cos(theta5))+(8*tc)
y63=(yc*sin(theta5))

%ZIG-ZAG -- 10/10 (ukuran fin -0.4)

L = 28;

```

```

p = 1025;
u = 7.716;
m = 32331.972;
Xg = 14.91;
Xu5 = 27.688;
Yv5 = -15.343;
s10 = (pi*10)/180;
Ys510 = -81.675;

m1 = m/(0.5*p*L^3)
Xg1 = Xg/L
Xudot=-(0.1*m)
Yvdot=-(1*m)
Xudot1=Xudot/(0.5*p*(L^3))
Yvdot1=Yvdot/(0.5*p*(L^3))
Xp = Xg + (0.1*L)
Yv25 = Yv5/(0.5*p*(L^2))
Yr25 = Xudot1 + ((Xp/L)*Yv25)
Ys2510 = Ys510/(0.5*p*(L^2))
Nr25 = (1/4)*(Yv25)
Nv25 = -(Xudot1-Yvdot1)+ ((Xp/L)*Yv25)
Ns2510 = -0.5*Ys2510

Rv42 = ((Yv25*(Nr25-m1*Xg1)-(Nv25*(Yr25-m1)))/(Yv25*Ns2510-
Nv12*Ys2510))
r10=(1/s10)*L
R10=Rv42*r10

w5=u/R10
td=pi/w5
q=w5*x/u
at=atan(q)
yd=(-s10)*cos(w5*td-at)

theta1=linspace(0, pi, 360);
x24=td*cos(theta1)
y24=yd*sin(theta1)

theta2=linspace(pi, 2*pi, 360);
x34=(-td*-cos(theta2))+(2*td)
y34=(-yd*-sin(theta2))

theta3=linspace(0, pi, 360);
x44=(td*cos(theta3))+(4*td)
y44=(yd*sin(theta3))

theta4=linspace(pi, 2*pi, 360);
x54=(-td*-cos(theta4))+(6*td)
y54=(-yd*-sin(theta4))

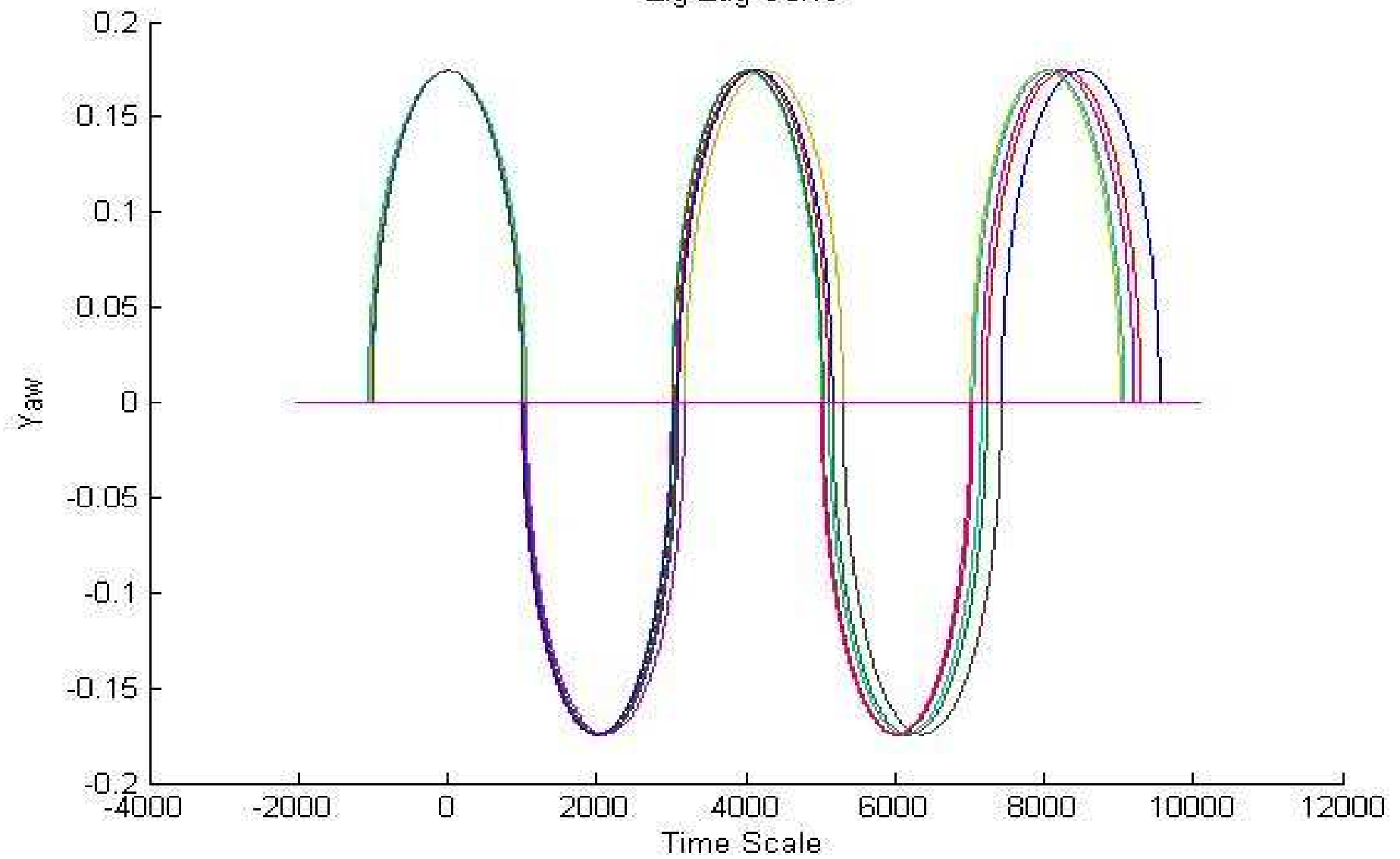
theta5=linspace(0, pi, 360);
x64=(td*cos(theta5))+(8*td)
y64=(yd*sin(theta5))

x7=[(-2*td) 10*td]
y7=[0 0]

```

```
figure (12)
hold on
plot
(x2,y2,x3,y3,x4,y4,x5,y5,x6,y6,x21,y21,x31,y31,x41,y41,x51,y51,x
61,y61,x22,y22,x32,y32,x42,y42,x52,y52,x62,y62,x23,y23,x33,y33,x
43,y43,x53,y53,x63,y63,x24,y24,x34,y34,x44,y44,x54,y54,x64,y64,x
7,y7)
title('Zig-Zag Curve')
xlabel('Time Scale')
ylabel('Yaw')
hold off
```

Zig-Zag Curve



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah semua penelitian Tugas Akhir dilakukan dan dikaji pada bab-bab sebelumnya, pada bab ini akan dilakukan proses merangkum seluruh hasil dengan membuat beberapa poin kesimpulan. Kesimpulan yang ditulis merupakan jawaban dari rumusan masalah dan tujuan yang telah ditulis pada Bab I Pendahuluan. Selain kesimpulan, dituliskan pula beberapa saran dari penulis untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang sejenis.

VI.1. Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini telah dilakukan desai *Submarine* 28 M berbasis analisis *maneuvering* dimana kapal merupakan hasil dari penelitian sebelumnya. Setelah melakukan analisis terhadap *maneuvering Submarine* 28 M, maka didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Karakteristik *maneuvering* dari *Submarine* 28 M untuk *turning circle* dan *zig-zag maneuver* pada keadaan *submerged* didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. *Turning Circle*

- Untuk model *submarine* 28 m dengan ukuran fin asli didapatkan nilai *steady turning radius* R sebesar 61.2177 m.
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no.1 didapatkan nilai *steady turning radius* R sebesar 52.6094 m.
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no. 2 didapatkan nilai *steady turning radius* R sebesar 71.852 m.
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no. 3 didapatkan nilai *steady turning radius* R sebesar 71.2812 m.
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no. 4 didapatkan nilai *steady turning radius* R sebesar 52.6094 m.

- b. *Zig-Zag Maneuver*

- Untuk model *submarine* 28 m dengan ukuran fin asli didapatkan sudut *overshoot* 1 dan 2 sebesar 17.26^0 .
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no.1 didapatkan sudut *overshoot* 1 dan 2 sebesar 17.29^0 .
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no. 2 didapatkan sudut *overshoot* 1 dan 2 sebesar 17.33^0 .
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no. 3 didapatkan sudut *overshoot* 1 dan 2 sebesar 17.324^0 .
- Untuk model *submarine* 28 m dengan fin variasi no. 4 didapatkan sudut *overshoot* 1 dan 2 sebesar 17.324^0 .

2. Berdasarkan batasan kriteria dari IMO Resolution MSC 137 (76), 2002 pada *turning circle*, model *submarine* 28 m dengan ukuran fin asli, ukuran fin dengan variasi no.1, serta no.4 telah memenuhi batasan kriteria. Tetapi untuk fin variasi no.2 dan 3 tidak memenuhi batasan kriteria. Sedangkan untuk *zig-zag maneuver*, model *submarine* 28

m dengan ukuran fin asli dan semua variasi ukuran fin telah memenuhi batasan kriteria *maneuvering submarine* 28 m. Dengan meninjau hasil batasan kriteria *maneuvering* pada *submarine* 28 m, model *submarine* 28 m dengan ukuran fin variasi no.1 adalah model yang paling optimum untuk kemampuan *maneuvering* dengan harga *turning radius* 52.6094 m dan sudut *overshoot* 17.29°.

VI.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan sebagai analisis lanjutan mengenai analisis *maneuvering* terhadap *submarine* lainnya, antara lain sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini hanya dilakukan 4 variasi modifikasi terhadap ukuran fin kapal, sedangkan untuk mendapatkan hasil yang benar-benar optimum seharusnya diperlukan variasi yang lebih banyak.
2. Parameter variasi untuk mendapatkan kriteria optimum pada *submarine* dapat lebih divariasikan dengan memodifikasi bentuk atau bagian-bagian *submarine* yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih optimum.
3. Dapat dilakukan perancangan sistem konstruksi dan perhitungan berat konstruksi untuk pengembangan desai selanjutnya, sehingga hasil analisis yang diperoleh menjadi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. (2015). *Underwater Vehicles, Systems and Hyperbaric Facilities. Dalam A. B. Shipping, Rules for Building and Classing*. New York: American Bureau of Shipping.
- Ahadiyanti, G. M. (2014). Modifikasi Bentuk Lambung Pada Shallow Draft Bulk Carrier.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley and Sons Ltd.
- Couser, P. (2002). *Use of Computers in The Design of High-Speed Craft. High-Speed Craft Technology and Operation*. London: RINA.
- Feldman, J. (June 1979). DTNSRDC Revised Standard Submarine. *David W. Taylor Naval Ship Research And Development Center*.
- Fossen, T. I. (1994). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Mahardika, N. (2007). Simulasi Numerik Aliran 3D untuk Kondisi Quasi Steady dan Unsteady.
- Moonesun, M., Korol, Y. M., Ardeshiri, S., Mahdian, A., Gharechahi, A., Tahvildarzade, D., & Ursalov, A. (2015). Evaluation of Naval Submarine Seakeeping Criteria. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 52.
- Organization, I. M. (2002). *IMO Resolution MSC 137 (76)*. London: IMO Publishing.
- Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory - Volume 1 (5th edition)*. Oxford: Butterworth - Heinemann.
- Renilson, M. (2015). *Submarine Hydrodynamics*. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.

BIODATA PENULIS



Irma Mahardhika Putri. Penulis dilahirkan di Surabaya, 16 Agustus 1994. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Bahrul Ulum (1999-2000), SD Negeri Panjang Jiwo I/265 Surabaya (2000-2006), SMP Negeri 39 Surabaya (2006-2009), SMA TRIMURTI Surabaya (2010-2012) hingga kini di Jurusan Teknik Perkapalan – FTK – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis diterima di Teknik Perkapalan melalui SNMPTN – Jalur Tulis.

Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan baik itu organisasi maupun kepanitiaan. Pada tahun kedua perkuliahan, penulis menjadi sekretaris SAMPANESIA – SAMPAN 8 ITS (2013-2014). Di tahun ketiga perkuliahan, penulis menjadi Bendahara Departemen Kewirausahaan – HIMATEKPAL (2014-2015) dan staff Publikasi SAMPAN 9 ITS (2014-2015). Selain itu, penulis juga aktif di beberapa kegiatan kepanitiaan dan pelatihan, antara lain LKMM Pra-TD (2012), LKMM TD (2013), PPU Capresbem ITS (2013-2014), dan peserta Pelatihan ANSYS (2016). Kini, penulis telah berhasil menyelesaikan Tugas Akhir untuk mendapatkan gelar S-1 Jurusan Teknik Perkapalan ITS dengan judul “Desain *Submarine 28 M* Berbasis Analisis *Maneuvering*”. Harapan penulis untuk kedepannya adalah semoga semua usaha yang telah dilakukan oleh penulis selama ini senantiasa dapat bermanfaat dan memberikan arti bagi nusa dan bangsa.

Email : irmamahardikaputri@gmail.com

No. HP : +628 125 280 4695

